

「質量起源と超対称性物理の研究」

(領域番号：414, 研究課題番号：13047101, 領域略称名：質量起源)

平成 13～17 年度 科学研究費補助金 (特定領域研究)

研究成果報告書

平成 19 年 3 月

領域代表者 金 信弘

筑波大学・数理物質科学研究科・教授

科学研究費補助金 (特定領域研究)

研究課題番号：13047101

質量起源と超対称性物理の研究 (平成 13～17 年度)

年次予算表

単位：千円

年度 班	平成 13	平成 14	平成 15	平成 16	平成 17	平成 18	合計
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
総括班	8,500	9,900	9,900	10,100	10,100	3,000	54,500
計画研究 A01	0	92,100	61,300	22,600	20,100	0	196,100
計画研究 A02	0	75,400	69,300	34,400	21,800	0	200,900
計画研究 A03	0	49,500	59,800	66,200	29,300	0	204,800
計画研究 A04	0	85,100	98,400	101,400	63,200	0	348,100
計画研究 A05	0	37,600	76,200	92,800	38,700	0	245,300
計画研究 A06	0	19,600	14,700	15,000	15,000	0	64,300
公募研究	0	49,800	44,100	49,400	38,000	0	181,300
合計	8,500	419,000	433,700	391,900	236,200	3,000	1,492,300

目次

1	研究領域の概要	1
2	研究領域の研究組織と各研究項目の連携状況	4
2.1	特定領域を推進するに当たっての方針	4
2.2	研究組織	6
2.3	連携状況	8
3	研究領域の設定目的及びその達成度	12
4	研究領域内の主な研究成果	13
4.1	A01 陽子反陽子衝突実験によるヒッグス粒子の探索	13
4.1.1	ヒッグス粒子の間接探索：トップクォーク質量測定	13
4.1.2	ヒッグス粒子直接探索	15
4.1.3	電弱相互作用	18
4.1.4	QCD の物理	19
4.1.5	B の物理	20
4.1.6	新粒子の探索	21
4.1.7	シリコン飛跡検出器	22
4.1.8	公募研究の成果	23
4.1.9	主要論文	26
4.2	A02 B ファクトリーを用いた質量起源の探求	28
4.2.1	小林・益川理論の実験的検証：B 中間子系における CP 非対称の超精密測定	28
4.2.2	B 中間子崩壊における量子効果を用いた新しい物理の探索	29
4.2.3	中性 B 中間子の $\pi^+\pi^-$ 崩壊における CP 非対称の発見	30
4.2.4	B 中間子の非常に稀な崩壊の測定	32
4.2.5	公募研究の成果	34
4.2.6	主要論文	37
4.3	A03 タウレプトンの物理	39
4.3.1	タウの物理	39
4.3.2	粒子識別装置の開発	48
4.3.3	公募研究の成果	55
4.3.4	主要論文	57
4.4	A04 K ファクトリーを用いた $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の研究	59
4.4.1	KEK E391a 実験	60
4.4.2	J-PARC 大強度陽子シンクロトロンでの実験	64

4.4.3	$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 実験のための開発研究	70
4.4.4	Fermilab KTeV 実験	77
4.4.5	主要論文	78
4.5	A05 荷電及び中性 K 中間子の稀崩壊の精密測定	80
4.5.1	荷電 K 中間子稀崩壊の精密測定	80
4.5.2	入射 K 中間子の識別と静止点決定のためのシリコンストリップ検出器 (SSD) の開発	83
4.5.3	粒子選別や雑音事象除去に用いる高速波形記憶処理回路の開発	84
4.5.4	粒子識別のためのカロリメータ開発	87
4.5.5	中性 K 中間子稀崩壊の精密測定	88
4.5.6	主要論文	97
4.6	A06 ヒッグスセクターと超対称理論ダイナミックスの現象論的研究	99
4.6.1	超対称理論	99
4.6.2	余剰次元模型, ヒッグスレス模型, リトルヒッグス模型	102
4.6.3	初期宇宙と素粒子	104
4.6.4	公募研究 (平成 14 ~ 15 年度)	107
4.6.5	公募研究 (平成 16 ~ 17 年度)	108
4.6.6	主要論文	112
5	研究成果の取りまとめ状況	114
6	研究成果公表の状況 (主な論文等一覧)	115
6.1	発表論文	115
6.2	国際会議発表	158
6.3	国内での発表	178
6.4	開催研究会	204
6.5	博士論文	207
6.6	修士論文	209
6.7	ホームページ	213
6.8	受賞	213
7	総括班評価者による評価の状況	214
8	研究領域の研究を推進してきた上での問題点と対応措置	214
9	当該学問分野及び関連学問分野への貢献度	214

1 研究領域の概要

素粒子物理学は、物質の究極の構成要素である素粒子の探究とその反応メカニズムの解明を目指す学問である。二十世紀後半の素粒子物理学は、「標準理論 (The Standard Model)」と呼ばれる素粒子反応の基本理論が加速器実験によって実証されることによって発展してきた。標準理論は、(1)ゲージ普遍性の原理(2)電弱相互作用の自発的対称性の破れによる質量の生成(3)素粒子(クォークとレプトン)の三世代の階層構造という三つの柱からなっている。このうち、第一のゲージ原理は、物質の構成要素であるクォークとレプトンというフェルミオン間の相互作用がゲージボゾンと呼ばれるスピン1のボゾンの交換によって起こることを明らかにした。その正しさは、弱い相互作用のゲージボゾン(W^+ , W^- , Z^0)と強い相互作用のゲージボゾン(グルーオン)の加速器実験による発見に代表される数々の実験事実によって実証されている。一方、上記第三、フェルミオンの階層構造(世代)が、自然界の粒子と反粒子のアンバランスに重要な関わりがあるとする「小林・益川理論」については、文部省高能加速器研究機構(KEK)のBファクトリーでその検証が着々と進んでいる。標準理論について未だ確認が得られていないのは、フェルミオンやボゾンがなぜ質量を持っているのかを説明する自発的対称性の破れの(ヒッグズ機構とも呼ばれる)メカニズムである。「ヒッグス粒子の真空凝縮によってゲージボゾン、クォーク、レプトンに質量が与えられる」という標準理論の質量起源に対する予言は未だ実験室で確認されていない。

質量の起源が、標準理論の言う自発的対称性の破れのメカニズムにあるのか、それともこの理論の枠組みにおさまらない新理論にあるのか、これは今後の素粒子物理学の方向を決める最も重要な課題である。

標準理論においてはクォークやレプトンの質量は実験で決定されるべきパラメータである。標準理論は、これらフェルミオンの質量パラメータとして少なくとも9個、ニュートリノに質量があれば12個のパラメータを持っていることになる。これらのパラメータをアприオリに決定する原理すなわち標準理論よりいっそう基礎的な物理が存在するかどうか、あるとすればその新しい基礎理論の手がかりを得ることが、現代素粒子物理学の急務である。

この新しい物理の可能性として最も注目されかつ期待されている理論が、フェルミオンとボゾンの間の対称性にもとづく超対称性理論である。超対称性理論によるとすべての粒子にはスピン統計性の異なるパートナーがある。スピン1/2のフェルミオンであるクォークやレプトンはスピン0のスカラ粒子と対になっている。この超対称性にもとづく大統一理論、すなわち「素粒子に働く強い力、電磁力、そして弱い力の三種類の力が超高エネルギーでは統一されて一つになる」という理論を仮定するとヒッグス粒子と呼ばれる未知の粒子の質量が $150 \text{ GeV}/c^2$ 以下でなければならないことが導かれる。ヒッグス粒子は、質量起源が自発的対称性の破れにあるならば、必ず存在しなくてはならないスカラ粒子である。標準理論だけでは、ヒッグス粒子の質量について、何の制限も与えることはできないが、超対称性理論と組み合わせると、その質量に制限を加えることができるのである。このヒッグス粒子を発見できれば、質量起源が自発的対称性の破れにあることを証明することになる。さらに、その質量が $150 \text{ GeV}/c^2$ 程度

であれば、標準理論の先にあるより基礎的な理論が超対称性理論である可能性がきわめて高くなる。本領域研究期間中、このヒッグス粒子を直接探査できる加速器は、フェルミ国立研究所 (FNAL) のテバトロン加速器しかない。本領域計画研究 A1 班の研究者グループは、テバトロンにおいてトップ (t) クォークを発見し、さらに b クォークと c クォークの束縛状態である B_c 中間子を発見するなど、陽子・反陽子衝突実験における新粒子発見に確固たる実績がある。この計画研究によるテバトロンでの実験では、トップクォークと W ボソンの質量を測定することによって、ヒッグス粒子の質量を 30 % 程度の誤差で間接的に測定することができる。また $130 \text{ GeV}/c^2$ 以下という比較的軽いヒッグス粒子を発見できる可能性は高い。宇宙を構成する物質の質量は、ダークマターを除いては、ほとんどが陽子・中性子の質量であるが、この質量起源は標準理論の中の強い相互作用を記述する QCD 理論にあるカイラル対称性の破れである。重いクォークから構成されている中間子の質量や生成機構を研究することによって、この質量起源を追求することも重要である。ヒッグス粒子の探査などによる質量起源の解明が、この領域の第一の研究目標である。

超対称性理論など標準理論の先にある新しい物理を検知するもう一つの有効な手段は、 K 中間子、 B 中間子およびタウ (τ) レプトン崩壊の精密測定である。これらの粒子の崩壊は、新しい物理の効果に敏感であることが理論的に示されている。KEK の B ファクトリーに代表される「粒子ファクトリー」は、これらの中間子やレプトンを大量に発生することができる。これらの粒子の崩壊現象を精密に測定し、標準理論の予測値と厳密に比較することにより、いままでに検出されていなかった「標準理論からのずれ」を発見することが可能である。特に、 K 中間子および B 中間子における CP 非保存現象は、自発的対称性の破れから生ずる「小林・益川理論」が予言する現象であり、 B 中間子における CP 非保存と K 中間子における CP 非保存の比較は、新しい物理を発見するのに最も有効な手段の一つである。具体的には、 K 中間子ファクトリーを用いて、小林益川行列の中で CP の破れを決める $Im(V_{id})$ と、 $|V_{id}|$ の大きさを、約 5% の精度で測定する。標準理論の予測や B 中間子の結果と異なる値が得られれば、小林・益川理論以外の CP の破れの存在を意味する。さらに、超対称性理論は、タウレプトンの崩壊現象の中にフレーバー量子数を保存しない崩壊がわずかながら含まれていると予言する。B ファクトリーは B 中間子の工場であると同時にタウレプトンの工場でもあり、タウレプトンの稀な崩壊現象を探すのに最も適した実験環境を提供する。本領域の第二の研究目標は、ファクトリー加速器を用いた徹底した精密実験によって「標準理論からのずれ」を発見し、新しい物理の手がかりを得ることである。

現在、ヒッグス粒子の直接探査、標準理論の精密検証そして超対称性物理の探索など質量起源の解明に関する実験のできる加速器施設は、フェルミ国立研究所のテバトロン、KEK の B ファクトリーおよび米国スタンフォード大の B ファクトリー、そして米国フェルミ国立研究所と同ブルックヘブン国立研究所の K ファクトリーにおいて他にはない。我が国の実験素粒子物理学研究者が、素粒子物理さらには基礎物理学全体に多大な貢献ができる、まさに絶好の機会といえる。

本領域の第三の研究目標は、次世代加速器とくに、我が国のハドロン加速器である J-PARC 加速器、CERN (ヨーロッパ原子核連合) で 2007 年の完成を目指している超高エネルギー陽子陽子衝突型加速器 (LHC) および我が国素粒子物理学会の次期主力計画として検討が進められている電子陽電子線衝突型加速器 (ILC) での物理の理論的研究および測定器の開発研究をそれぞれ理論計画研究と公募研究で

勢力的に進めることにある。本領域において、次世代の素粒子物理学を担う若い研究者が、将来の加速器を使った実験に対し積極的に提案をし、かつその開発研究を行うことを可能にする環境を整える。

本領域はトップクォークの発見、B ファクトリーと K ファクトリーにおける小林・益川理論の検証、*B* 中間子および *K* 中間子崩壊の超精密測定など、現代素粒子物理学の骨格をなす研究にたずさわってきた研究者が、その実績に基づいて現代物理学の最も基礎的かつ興味深いテーマ「物質に質量があるのはなぜか、物質の質量を決めている物理法則は何か」を現行の加速器を最大限利用して解明することを目的としている。領域の学術的水準はきわめて高く、国外においても高く評価されている。現在われわれが手にしているトップファクトリー、B ファクトリー、K ファクトリーを総合的に利用し互いに協力して研究を進めて、次なるブレイクスルー (Breakthrough) を引き起こすことを目指す。すでに世界の素粒子物理学をリードしつつある我が国のこの分野が、本領域の研究によって 21 世紀の物理を切り拓く原動力となることができる。さらに本領域の研究は、素粒子物理学と密接な関係にある宇宙物理学にも大きな影響を与える。150 億年前に、ビッグバンから始まった宇宙の進化の過程を理解するのに、粒子の質量起源の解明は必須である。宇宙が、なぜ今の宇宙でありえたのか。フェルミオンの質量パラメータがなぜ現在の数値になっているのか。この問題の答えは、素粒子物理学のさらなる進展なしにはあり得ない。本領域では、この答えを出すべく、素粒子物理学の進展を促進することを目指す。

本特定領域は、現在稼働中の粒子ファクトリーの産み出す物理成果のさらなる飛躍をめざすものであるとともに、大型プロジェクトを支える大学研究機関の技量の一層の発展をはかることを目標としている。わが国の素粒子物理学分野の健全な発展は、国内外の共同利用研究所のみならず教育・研究機関である大学グループの充実とそこでの将来を担う有能なる若手研究者の育成を抜きにしては語れない。筑波大学、東京大学、名古屋大学、大阪大学、京都大学、東北大学など参加大学は、これまで、高エネルギー物理学研究所の B ファクトリーやプロトンシンクロトロン (K ファクトリー) さらに日米科学協力事業を通して、新粒子の発見や CP 非保存の研究を遂行してきた。本領域では、これらの基幹大学グループが、質量起源の解明にせまり、超対称性物理研究の成果をあげることを目標とした。

2 研究領域の研究組織と各研究項目の連携状況

2.1 特定領域を推進するに当たっての方針

本特定領域研究は、以下の5つの実験研究項目と1つの理論研究項目を主要な柱とする。

- 「高エネルギー陽子反陽子衝突によるヒッグス粒子の探索」では、6種類あるクォークのうち最後まで見つからなかったトップクォークは1994年にテバトロン加速器を使ってCDFグループが生成の証拠を発表し、1995年にDゼログループとともに生成の確認をするに至り最終的にその存在は確立された。2007年に予定されているヨーロッパCERN研究所のLHCハドロン加速器が稼働するまではテバトロン加速器が唯一トップクォークを生成できる加速器である。このフェルミオンの中で最も重いトップクォークの生成崩壊を精密測定することによって、ヒッグス粒子の質量に対する知見を得ることができる。かつ、ヒッグス粒子の直接探索については、2000年にヨーロッパCERN研究所のLEP実験が終了した後は、LHCハドロン加速器の稼働まではCDF実験が唯一可能な実験である。本計画研究で計画中の高放射線耐性シリコン飛跡検出器はBハドロン飛程を高精度で測定するのに必要不可欠である。この検出器は特にボトム・クォーク・ジェット同定を用いたヒッグス粒子の探索にとって重要である。
- 「Bファクトリーを用いた質量起源の探究」では、Bファクトリーに新しいシリコンデバイスを導入して、質量の起源をさぐる。本計画研究の独創的な点の第一、Bファクトリービーム軸からわずか1cmの近傍に設置されるデバイス、擬ピクセル検出器である。このデバイスは超高エネルギー陽子衝突加速器での使用のために開発されたハイブリッド型ピクセルから着想を得、かつ、その欠点である物質量の多さを克服するために考え出されたもので、わずか17mm長のストリップからなる特殊なシリコンストリップである。このデバイスを用いた実験は、他にない。これにより、B中間子の崩壊点を約 $50\mu\text{m}$ の精度で測定することが可能になる。これは、現存の加速器実験において最も精度のよい測定となる。また、トリガー機能付きの大面積シリコン検出器をビーム軸から約8cmのところに設置する。これは、もともとX線検出器用に開発されてきたものを荷電粒子検出に応用したもので、これにより大強度ビームから発生するバックグラウンドに影響されることなくB中間子データの収集が可能になる。Bファクトリーにおけるきわめて多様な実験テーマの中から、現代素粒子物理学の中心テーマにしぼった崩壊過程を特定して、その測定に最も適した検出器を製作しようとする研究計画である。
- 「タウレプトンの物理」では、高統計・高品質のタウ・レプトン事象の測定により、タウ物理研究を新世代へ導くとともに、未知の物理を開拓することを狙うものである。このタウ物理研究は、KEKBファクトリーはB中間子対と同多量のタウ・レプトン対を生成することと、Belleスペクトロメータで高分解能の測定ができることを利用して遂行される。タウ・レプトンは他二種の荷電レプトンと比較し、遥かに重い質量（電子の質量=0.5 MeV; ミューオンの質量=0.1 GeV; タウ

の質量=1.8 GeV)を持つ。これは、(1) 相互作用の強さが質量の n 乗に依存するため新しい物理に対する感度が非常に高い、また、(2) ハドロンに崩壊し得る唯一のレプトンである、(3) 他二種のレプトンや精密測定が行われている、 K 中間子と比べ、随分と大きな q^2 を有し研究のエネルギー領域が拡大できる、などの特徴的な利点がある。Bファクトリーでの膨大な統計量 ($\sim 1 \times 10^8$ τ -pairs/100fb $^{-1}$) は、従来の研究と比べ、タウ物理を格段に大きく展開できるとともに、探究レベルを質・量共に大きく革新することを可能とする。タウ物理研究には、高分離能力の粒子識別検出器が必要である。特に、高い運動量 ($3 - 4$ GeV/c) 領域を被う高精度 π/K 識別は、物理研究の課題拡充と信頼度向上に非常に重要である。タウ物理の次世代を荷なう Bファクトリーに世界が期待する点の一つは、この優れた粒子識別能力である。現 Belle は斬新・高能力なアエロジェール・チェレンコフ検出器を有する (π/K separation at 3 GeV/c = 3)。我々は、さらに識別能力ならびに検出効率が高く、上記の高運動量域までも稼動する新型検出器を、次期 Belle 粒子識別検出器候補として、発案、開発研究中である。この検出器は、石英チェレンコフ輻射体からのチェレンコフ・リング像を、光子の石英バーの伝播時間 (TOP) と放出角度 () の二変数として検出するもので、Time-Of-Propagation (TOP) counter と名付ける。本計画研究で、この新しい検出器の開発を完了させる。

- 「 K ファクトリーを用いた $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の研究」では、KEK のプロトンシンクロトロンを用いて、 K_L 中間子の稀崩壊 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ を 10^{-10} 程度の感度で、世界に先駆けて探索する。これにより CP の対称性の破れをに寄与する V_{td} の複素成分を直接測定することができる。J-PARC の 50GeV 陽子シンクロトロンによる K ファクトリー - を用いて、 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ を約 100 事象観測し、 V_{td} の複素成分を約 5% の精度で決定する。2~5GeV の高いエネルギーの K_L を用いるので、崩壊でできるガンマ線のエネルギーが高い。これにより、バックグラウンドとなる $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ 崩壊から出てくる余分なガンマ線に対する不感率が低いことを利用して、バックグラウンドを抑えた精密実験が可能である。
- 「荷電及び中性 K 中間子の稀崩壊の精密測定」では、小林益川行列の要素 $|V_{td}|$ の大きさを測定するために、米国ブルックヘブン研究所 (BNL) の K ファクトリーを用いて、 $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ シグナルを数事象観測する。さらに FNAL の K ファクトリーを用いて、同反応約 100 事象観測することにより、 $|V_{td}|$ を約 5% の精度で決定する。BNL の 30GeV の陽子ビームを用い、 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ を約 100 事象観測し、 V_{td} の複素成分を約 5% の精度で決定する。ガンマ線の方向を測定して K_L の崩壊点を求め、約 0.7GeV/c という低い運動量の K_L を用ることによって飛行時間から K_L の運動量を求める。これにより、運動力学的な変数な制約を加えることによって $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ からのバックグラウンドを抑えることができる。
- 「ヒッグスセクターと超対称理論ダイナミクスの現象論的研究」では、実験データから、物理の結果を引き出すのに必要な理論的解析を完了させ、質量起源と超対称性物理の追求を目指すとともに、理論研究の結果を実験にフィードバックする。具体的目標は、ヒッグスセクターおよび超対称模型に関して、そのダイナミクスの解明と宇宙論的考察、そしてその現象論的な帰結を明らかに

することであり、これによって上に挙げた最先端の加速器実験における解析方法、実験結果の解釈の指針を与えるとともに、将来に対する展望をひらくことである。本特定領域研究の一つの特徴は、理論と実験との密接な共同研究にある。過去大きな成功を納めた実験研究を振り返ってみると、その背景に強力な理論グループのサポートを得ているケースが多い。

実験の5つの計画研究(A01-A05)は、現存する国内外の粒子ファクトリー加速器(トップファクトリー、Bファクトリー、Kファクトリー)を使って「質量の起源と超対称性物理」に迫ろうとするものである。現存するトップファクトリー、FNALのテバトロンは、本領域研究期間中、ヒッグス粒子を直接生成できる可能性がある唯一の加速器である。KEKのBファクトリーは、B中間子のCP非保存の研究やタウレプトン稀崩壊の測定について米国スタンフォード大学のBファクトリーと熾烈な競争をしている。KEK、BNL、FNALの陽子シンクロトロンは、それぞれ異なったエネルギーのK中間子を発生させるKファクトリーである。これら現在稼動しているすべての粒子ファクトリーを用いて、包括的徹底的な研究を行う。そのために、それぞれのファクトリーの長所をいかすと同時に、計画研究間の連絡を密にして、データ中に隠れている「標準理論からのずれ」を特定できるよう総合的な解析を行う。理論研究(A06)は実験データをもとに、どのような事象に注目すべきか、現在の測定値からどのような理論的考察ができるかなどについて、実験グループに対して適切かつ迅速なフィードバックができるよう留意して独創的研究を推進する。

実験、理論それぞれに公募研究が設けられている。実験分野では、将来の高エネルギー加速器実験(超高エネルギー線形衝突型加速器ILC、陽子陽子衝突型加速器LHC、ミュオンコライダー、ニュートリノファクトリーなど)に備えるための新しい実験技術の開発、加速器を用いた実験の提案、さらに新しい加速器技術の開発などについての公募研究が行われている。理論分野では、これらの加速器実験で期待される新しい素粒子物理についての現象論的研究が公募研究で行なわれた。

総括班は5年間におよぶ本特定領域研究の実施期間中に各研究の調整をとり、特に実験研究について指揮をとると同時に、理論と実験の密接な交流をはかってきた。具体的には総括班連絡会を行い、各研究の調整をとってきた。また、研究会等のミーティングを実施し、報告書を適宜編集し、コミュニケーションと情報の開示を総括してきた。

2.2 研究組織

それぞれの計画研究の研究課題名および研究代表者・研究分担者の氏名・所属を表1に示す。

計画研究 A01: 高エネルギー陽子反陽子衝突によるヒッグス粒子の探索		
研究代表者	金 信弘	筑波大学・大学院数理物質科学研究科・教授
	滝川 紘治	筑波大学・大学院数理物質科学研究科・教授

研究分担者	受川 史彦	筑波大学・大学院数理物質科学研究科・教授
	原 和彦	筑波大学・大学院数理物質科学研究科・講師
	清矢 良浩	筑波大学・大学院数理物質科学研究科・講師
	丸山 和純	筑波大学・大学院数理物質科学研究科・講師
計画研究 A02: B ファクトリーを用いた質量起源の探求		
研究代表者	相原 博昭	東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究分担者	岩崎 昌子	東京大学・大学院理学系研究科・講師
	角野 秀一	東京大学・素粒子物理国際研究センター・助手
	羽澄 昌史	高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・助教授
	幅 淳二	高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授
計画研究 A03: タウ・レプトンの物理		
研究代表者	大島 隆義	名古屋大学・大学院理学研究科・教授
研究分担者	三田 一郎	名古屋大学・大学院理学研究科・教授
	千代 勝実	名古屋大学・大学院理学研究科・助手
	林井 久樹	奈良女子大学・理学部物理・教授
	山口 晃	東北大学・大学院理学研究科・教授
計画研究 A04: K ファクトリーを用いた ($K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$) 崩壊の研究		
研究代表者	山中 卓	大阪大学・大学院理学研究科・教授
研究分担者	能町 正治	大阪大学・大学院理学研究科・教授
	原 隆宣	大阪大学・大学院理学研究科・助手
	菅谷 頼仁	大阪大学・大学院理学研究科・助手
	稲垣 隆雄	高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授
	佐藤 任弘	高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・助教授
	Gei Youb Lim	高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・助教授
	山鹿 光裕	大阪大学・大学院理学研究科・特任助手
	田島 靖久	山形大学・学術情報基盤センター・助手
計画研究 A05: 荷電及び中性K 中間子の稀崩壊の精密測定		
研究代表者	杉本章二郎	高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所・教授
研究分担者	小林 正明	高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授
	小松原 健	高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・助手
	野村 正	京都大学・大学院理学研究科・助手
	笹尾 登	京都大学・大学院理学研究科・教授
計画研究 A06: ヒッグスセクターと超対称理論ダイナミクスの現象論的研究		
研究代表者	日笠 健一	東北大学・大学院理学研究科・教授
研究分担者	山口 昌弘	東北大学・大学院理学研究科・助教授
	棚橋 誠治	東北大学・大学院理学研究科・助教授
	諸井 健夫	東北大学・大学院理学研究科・助教授
	山田 洋一	東北大学・大学院理学研究科・助手
計画研究 X00: 総括班 質量起源と超対称性物理の研究計画調整		
研究代表者	金 信弘	筑波大学・大学院数理物質科学研究科・教授
研究分担者	相原 博昭	東京大学・大学院理学系研究科・教授
	大島 隆義	名古屋大学・大学院理学研究科・教授
	山口 晃	東北大学・大学院理学研究科・教授
	杉本章二郎	高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授
	稲垣 隆雄	高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授

	山中 卓	大阪大学・大学院理学研究科・教授
	野村 正	京都大学・大学院理学研究科・助手
	日笠 健一	東北大学・大学院理学研究科・教授
	三田 一郎	名古屋大学・大学院理学研究科・教授

表 1: 計画研究の研究組織。所属等は発足当時のもの。

それぞれの公募研究の研究課題名および研究代表者の氏名・所属を表 2,3 に示す。

2.3 連携状況

- 超高エネルギー線形衝突型加速器リニア子ライダー (LC) については、ACFA-JLC 研究会が 2002 年 7 月 10 日 - 12 日に東大山上会議所にて行われ、2002 年 8 月 25 日 - 30 日に韓国済州島にて LCWS2002 研究会が行われた。
- 研究項目 A01 については、2002 年 12 月 13 - 14 日、2003 年 12 月 12 - 13 日、2004 年 12 月 18 - 19 日、2005 年 12 月 17 - 18 日に筑波大学にて CDF 実験日本グループ研究会が参加者約 50 名を集めて開催され項目内の研究連携をはかった。2003 年 1 月 14 - 15 日、2005 年 3 月 3 - 5 日、2006 年 1 月 17 - 19 日に広島大学において 広島ヒッグス研究会を開催し、理論実験の広範囲な研究者の間でヒッグス研究についての議論が行なわれた。
- 研究項目 A03 については、2002 年 8 月 31 日に名古屋大学にて「Belle PID アップグレードに関する研究会」を開催し、項目内の研究連携をはかった。
- 研究項目 A04 については、2001 年 10 月 4-6 日、2002 年 3 月 13-14 日、2002 年 10 月 26-27 日、2004 年 3 月 1 - 20 日、2004 年 8 月 13 日の 5 回 KEK にて、また 2003 年 7 月 25-30 日に JINR, Dubna, Russia にて、E391a experiment collaboration meeting を開催した。また 2005 年 9 月 22 - 24 日、2006 年 3 月 18 - 19 日、2006 年 7 月 12 - 14 日の 3 回 KEK にて、2004 年 12 月 4 - 5 日に韓国釜山にて、E391a and J-Parc KL experiments collaboration meeting を開催して、項目内の研究連携をはかった。
- 研究項目 A05 については、2001 年 11 月 29 - 30 日に敦賀にて K^+ 稀崩壊研究計画検討会を開催、2002 年 10 月 11 - 13 日に勝山にて K 稀崩壊実験の解析と計画に関する作業部会を開催、さらに 2003 年 2 月 9 - 10 日と 2003 年 8 月 28 - 29 日の 2 回 BNL にて E949/E787 Analysis Meeting を行ない、また 2003 年 12 月 13 日に KEK にて J-PARC K 中間子崩壊実験のためのビームラインに関するミニワークショップを開催、2004 年 11 月 5 - 7 日と 2004 年 11 月 25 - 27 日の 2 回 Kaon 物理と測定器に関するワークショップを開催し、項目内の研究連携をはかった。

A01の公募研究	
高放射線環境下での素粒子実験用電子回路の動作保証技術の研究	
坂本 宏	東京大学素粒子物理国際研究センター
ヒッグス粒子自己結合定数測定のための測定器及びジェットエネルギー測定法の開発	
山下 了	東京大学素粒子物理国際研究センター
シンチレータストリップを用いた高性能電磁カロリメータの開発	
川越清以	神戸大学理学部
SiC半導体による放射線検出器の開発・研究	
田中礼三郎	岡山大学理学部
ヒッグス粒子探索のためのタウ・トリガーの開発	
岩田洋世	広島大学大学院理学研究科
高輝度衝突型加速器による粒子多重度の高い素粒子実験のための中央飛跡検出器の開発	
吉田拓生	大阪市立大学大学院理学研究科
ハドロン加速器ビーム増強のための誘導加速装置の開発	
高山 健	高エネルギー加速器研究機構加速器研究施設
A02の公募研究	
B 中間子崩壊での CP 非保存パラメータ α_2 の測定	
渡邊靖志	東京工業大学大学院理工学研究科
純ヨウ化セシウムカウンターの光検出デバイスのマウント方法の開発	
宮林謙吉	奈良女子大学理学部
B メソン事象完全再構成法の研究と新物理探索への適用	
鈴木史郎	四日市大学総合政策学部
高輝度衝突型加速器実験用エレクトロニクスの開発とパイプライン化に向けた研究	
田中真伸	高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所
A03の公募研究	
強磁場中での動作が可能な RICH 用光位置検出器の開発研究	
飯島 徹	名古屋大学大学院理学研究科
高屈折率・高透過率シリカエアロゲルの開発	
住吉孝行	東京都立大学大学院理学研究科
A06の公募研究	
格子 QCD による重いクォークの物理の研究	
青木慎也	筑波大学物理学系
格子カイラルゲージ理論の構成とゲージ対称性の自発的破れのダイナミクスの研究	
菊川芳夫	名古屋大学大学院理学研究科
超対称性理論における物質の世代構造とヒッグス系の 3-2 表現分離問題の解明	
波場直之	三重大学工学部
クォーク、レプトンの質量行列と自然な大統一理論	
前川展祐	京都大学大学院理学研究科
コライダーによる超対称模型の検証	
野尻美保子	京都大学基礎物理学研究所
B 中間子のセミタウオニック崩壊	
田中 実	大阪大学大学院理学研究科
ニュートリノ振動現象におけるレプトン数の破れとそれの将来の実験に対する示唆	
佐藤 丈	九州大学大学教育研究センター
超対称標準模型およびそれを越える模型とレプトンの物理	
久野純治	高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所

A01の公募研究	
APDによるシンチレーティングタイル・ファイバー型カロリメータの読み出し	
吉田拓生	福井大学工学部
超小型シンチレータタイルを用いたデジタルハドロンカロリメータの開発研究	
竹下徹	信州大学理学部)
超対称ヒッグス粒子の探索	
両角卓也	広島大学大学院理学系研究科
高放射線環境下での素粒子実験用電子回路の安定動作技術の確立	
福永力	東京都立大学大学院理学研究科
A02の公募研究	
大強度・高輝度加速器で使用するビームモニターの開発	
中家剛	京都大学大学院理学系研究科
超高帯域光通信路によるデータ収集系の研究	
中尾幹彦	高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所
低消費電力1 GHz 波形記憶集積回路の開発研究	
田中真伸	高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所
A03の公募研究	
波長変換剤を添加した改良型シリカエアロゲルの開発	
住吉孝行	東京都立大学大学院理学研究科
Belle 測定器の高抵抗板検出器をスーパー KEKB で使うためのガスの研究	
寺本吉輝	大阪市立大学大学院理学系研究科
エアロジェル RICH 検出器の開発研究	
飯島 徹	名古屋大学大学院理学研究科
A06の公募研究	
格子 QCD による重いクォークの物理の研究の展開	
青木慎也	筑波大学物理学系
三世代の質量構造と新しい物理	
佐藤 丈	埼玉大学理学部
ドメイン・ウォールなどに局在した粒子の質量と対称性の破れの研究	
坂井典佑	東京工業大学大学院理工学研究科
電子・陽電子リニアコライダーにおける標準模型を超える新しい物理の現象論的研究	
曹基哲	お茶の水女子大学物理学科
クォーク・レプトン質量行列のフレーバー構造の研究	
谷本盛光	新潟大学理学部
B 中間子のセミレプトニック崩壊と小林益川行列要素の決定	
大野木哲也	京都大学基礎物理学研究所
現実的湯川行列を導く機構とその対称性の破れの項への影響	
小林達夫	京都大学大学院理学研究科
自然な大統一理論の構築とその予言	
前川展祐	京都大学大学院理学研究科
ヒッグス場の起源が高次元ゲージ場のスカラー成分である可能性についての研究	
波場直之	徳島大学総合科学部

表 3: 平成 16 - 17 年度公募研究の研究組織

- 研究項目 A06 については、2002 年 8 月 21 日 - 23 日に京大基研にて「実験・観測に基づく素粒子統一描像の構築」研究会が行われ、2002 年 9 月 2-6 日には京大基研にて「対称性・超対称性・その破れ：新世紀の素粒子物理インスティテュート 2002」研究会が行なわれた。さらに 2003 年 3 月 17-18 日に京大基研にて「高エネルギーフロンティアの物理」、2003 年 9 月 17-20 日に東北大学にて「新世紀の素粒子物理インスティテュート 2003」、2005 年 2 月 14-16 日に仙台市にて、International Workshop “Windows to New Paradigm in Particle Physics”、2006 年 2 月 13-26 日に京大基研にて、International Workshop on Actions and Symmetries in Lattice Gauge Theory が開催され、項目内に限らず理論実験の研究連携を深めた。
- 領域全体の連携を深めるために、総括班は連絡会を定期的に行い、また総括班主催の研究会を行った。総括班連絡会は 2001 年 9 月より 2006 年 3 月まで半年毎に計 10 回行ない、各研究項目間の実施状況・計画の連絡をとった。総括班主催の科研費特定領域研究会「質量起源と超対称性物理の研究」を下記の日時場所において計 4 回開催し、各計画研究、公募研究の成果報告が行われ、それについての活発な議論があった。
第 4 回研究会は国際会議として行なわれ海外からの参加者 15 名と共に議論を行なった。研究会の発表等はホームページ（<http://hep.px.tsukuba.ac.jp/tokutei-wkshp/2003/>、[/2004/](http://hep.px.tsukuba.ac.jp/tokutei-wkshp/2004/)、[/2005/](http://hep.px.tsukuba.ac.jp/tokutei-wkshp/2005/)、[/2006/](http://hep.px.tsukuba.ac.jp/tokutei-wkshp/2006/)）上に公開されている。これらの研究会の成果を踏まえて、さらに各計画研究・公募研究間の成果の結合を深めて、質量起源と超対称性物理の研究を進展させてきた。

3 研究領域の設定目的及びその達成度

20世紀後半の素粒子物理学は、「素粒子標準理論」と呼ばれる素粒子反応の基本理論が加速器実験によって実証されることによって、発展してきた。この標準理論の根幹をなす「ヒッグス粒子の真空凝縮によって素粒子に質量が与えられる」という質量起源に対する予言は未だ実験室で確認されていない。質量の起源がこの標準理論の説明で正しいのか、それともこの理論の枠組みにおさまらない新理論にあるのか、は今後の素粒子物理学の方向を決める最も重要な課題である。本領域研究の設定目的は、ヒッグス粒子を直接・間接に探査すること、及び、ファクトリー加速器を用いた精密実験で「標準理論からのずれ」を発見して新しい物理の手がかりを得ることによって、質量起源の解明に寄与することである。

本研究領域においては、この目的に関して3つの大きな成果があがっている。一つは、ヒッグス粒子の間接探索により、95%の信頼度でヒッグス粒子の質量は $114 \text{ GeV}/c^2$ - $166 \text{ GeV}/c^2$ という狭い範囲にあると限定することができたことである。これはヒッグス粒子についての知見の大きな進展であり、今後の直接探索に重要な指標を与えることができた。第2には、標準理論を超える新理論の手がかりとして、トップファクトリー、Bファクトリー、Kファクトリー加速器を用いて測定を行ってきた結果、これまでにない高精度で標準理論を検証できたことである。第3の成果としては、標準理論を超える新理論の手がかりとして、Bファクトリー加速器を用いた実験において、 $b \rightarrow s$ 遷移崩壊過程のCP非対称度を測定した結果に「標準理論からのずれ」が見えたことである。これらの成果は素粒子物理学の発展を加速したものと貢献が大きい。また、この理解の進展は初期宇宙のより深い理解につながっていく。これらは設定目的を十分達成したと評価できる。

高統計の結果を得ることと、その結果を理論と比較することによって、質量起源について新しい知見を得るための基盤となる成果をあげることができた。これらを総合して考えて、設定目的の達成度は十分高いといえる。

4 研究領域内の主な研究成果

4.1 A01 陽子反陽子衝突実験によるヒッグス粒子の探索

計画研究「陽子反陽子衝突実験によるヒッグス粒子の探索」では、米国フェルミ国立加速器研究所テバトロン加速器を用いた陽子反陽子衝突実験（CDF 実験）によって研究が進められた。2007年に予定されているヨーロッパ CERN 研究所の LHC ハドロン加速器が稼働するまではテバトロン加速器が世界最高エネルギーの加速器であり、唯一トップクォークを生成できる加速器である。このフェルミオンの中で最も重いトップクォークの生成崩壊を精密測定することによって、ヒッグス粒子の質量に対する知見を得ることができる。かつ、ヒッグス粒子の直接探索については、2000年にヨーロッパ CERN 研究所の LEP 実験が終了した後は、LHC ハドロン加速器の稼働までは CDF 実験が唯一可能な実験である。直接的あるいは間接的にヒッグス粒子を探索することが本計画研究の第1目的である。それと同時に最高エネルギー衝突という利点を生かして、トップクォークの物理・電弱相互作用・QCD の物理・B の物理・新粒子の探索の研究によって、素粒子標準理論からのずれを発見して新しい物理の手がかりを得ることを目指す。本計画研究で計画中の高放射線耐性シリコン飛跡検出器は B ハドロン の飛程を高精度で測定するのに必要不可欠である。この検出器は特にボトム・クォーク・ジェット の同定を用いたヒッグス粒子の探索にとって重要である。

CDF 実験は、日本をはじめアジア、北米、欧州の研究機関からなる計 11ヶ国の国際協力により行なわれているが、1996年の物理実験 Run I の終了後、検出器および加速器の増強を経て、2001年度より Run II 実験が開始された。加速器の増強により重心系エネルギーが 1.8TeV から 2.0TeV に上げられ、2006年夏までに Run I で収集したデータ（積分ルミノシティー 106pb^{-1} ）の約 13 倍のデータ（積分ルミノシティー 1.4fb^{-1} ）が収集された。この実験データの 70% の物理解析が行なわれ多くの物理成果が得られた。

4.1.1 ヒッグス粒子の間接探索：トップクォーク質量測定

ヒッグス粒子の間接探索としては、トップクォーク質量と W ボソン質量の精密測定が行われており、これによってヒッグス粒子の質量を間接的に測定することができた。トップクォークの物理については、積分ルミノシティーで約 1fb^{-1} 相当のデータが解析に使用され、最優先課題として質量・生成断面積の測定が行われ、以下のような成果があがっている。解析はトップクォーク対が生成され、トップの崩壊で生成した W ボソンのうち片方がレプトンに崩壊するレプトン + ジェット・チャンネルと、両方の W ボソンがレプトンに崩壊するダイレプトン・チャンネルで行われた。このうちレプトン + ジェット・チャンネルの生成断面積の測定において重要な要素である検出器のアクセプタンス計算、および質量測定においては質量再構成法に日本グループが大きく貢献した。この結果は米国フェルミ国立加速器研究所と高エネルギー加速器研究機構のインターネット・ニュースでも報道された。この研究に関する博士論文 1 編には、『2004 年度筑波大学学長表彰』が与えられた。レプトン + ジェット・チャンネルにおける候補事象

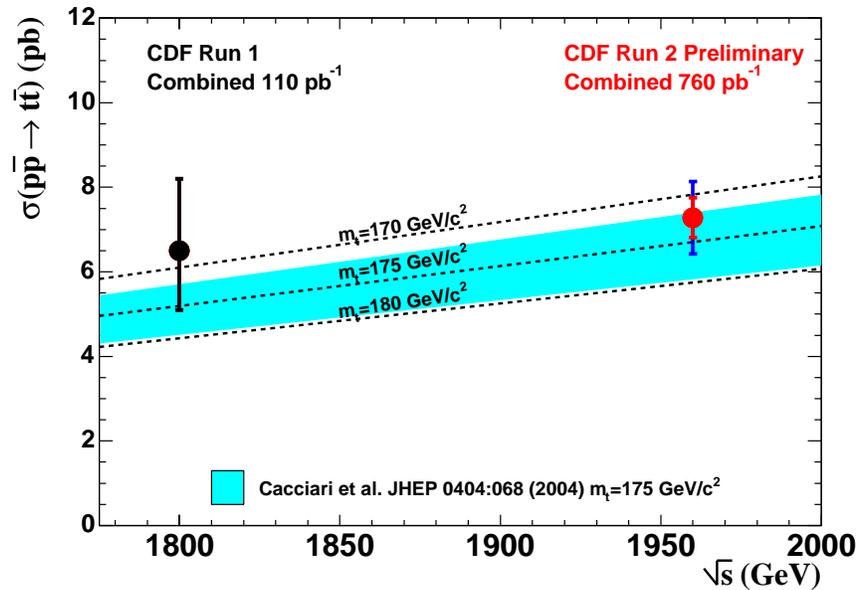


図 1: レプトン + ジェット・チャンネルとダイレプトン・チャンネルから得られたトップクォーク対生成の生成断面積と理論予言との比較．Run I 実験での値も示す。

については，ジェットの数が 3 以上が信号領域であり，期待されるバックグラウンド事象数が 70.2 ± 5.8 のところ 314 事象が観測された（積分ルミノシティで 0.75 fb^{-1} ）。これにより得られた生成断面積は， $\sigma_{t\bar{t}} = 6.0 \pm 0.6 \pm 0.9 \text{ pb}$ であった（図 1）。誤差はそれぞれ統計および系統による。対応するダイレプトン・チャンネルでの結果は， $\sigma(\bar{p}p \rightarrow t\bar{t}X) = 8.3 \pm 1.5 \pm 1.1 \text{ pb}$ である。共に，標準理論値（NLO での QCD 計算） $6.7^{+0.71}_{-0.88} \text{ pb}$ （質量 $m_{\text{top}} = 175 \text{ GeV}/c^2$ を仮定）と一致している。またすべてのチャンネルでの測定結果を合わせると $\sigma(\bar{p}p \rightarrow t\bar{t}X) = 7.3 \pm 0.5 \pm 0.7 \text{ pb}$ である。図 1 に示されるように，この結果は Run I の結果と共に標準理論値（NLO での QCD 計算）と一致している。

物理実験 Run I の約 10 倍のデータを（積分ルミノシティで 1.0 fb^{-1} ）解析して，レプトン + ジェット・チャンネルにおけるトップクォーク質量を測定した。W ボソンが 2 ジェットに崩壊する質量分布を用いて系統誤差を小さくすることに成功して， $m_{\text{top}} = 170.9 \pm 1.6(\text{stat}) \pm 2.0(\text{syst}) \text{ GeV}/c^2$ と測定した。ほぼ同様のトップクォークの質量測定結果は力学的最尤法（Dynamical Likelihood Method）を用いた解析でも得られた。他のチャンネルでの測定および D ゼロ実験の測定と合わせて $m_{\text{top}} = 170.9 \pm 2.4 \text{ GeV}/c^2$ が得られた。

1992 年 ~ 1996 年に収集したデータを解析して 2001 年に報告された測定結果の世界平均値は $176.0 \pm 6.5 \text{ GeV}/c^2$ であったので，本研究領域の研究期間の間に世界平均値よりもはるかに精度の高いトップクォークの質量測定結果が得られた。

質量の輻射補正計算より，ヒッグス粒子の質量はトップクォークの質量と W ボソンの質量に関係づけられているので，トップと W の質量を精密に測定することによってヒッグス粒子の質量を間接的に測定することができる（図 2）。この測定結果と W ボソンの質量測定結果および電弱相互作用の結果を用いてヒッグス粒子の質量は $85^{+39}_{-28} \text{ GeV}/c^2$ と測定された。すなわち $+45\%/-32\%$ の精度でヒッグス粒子

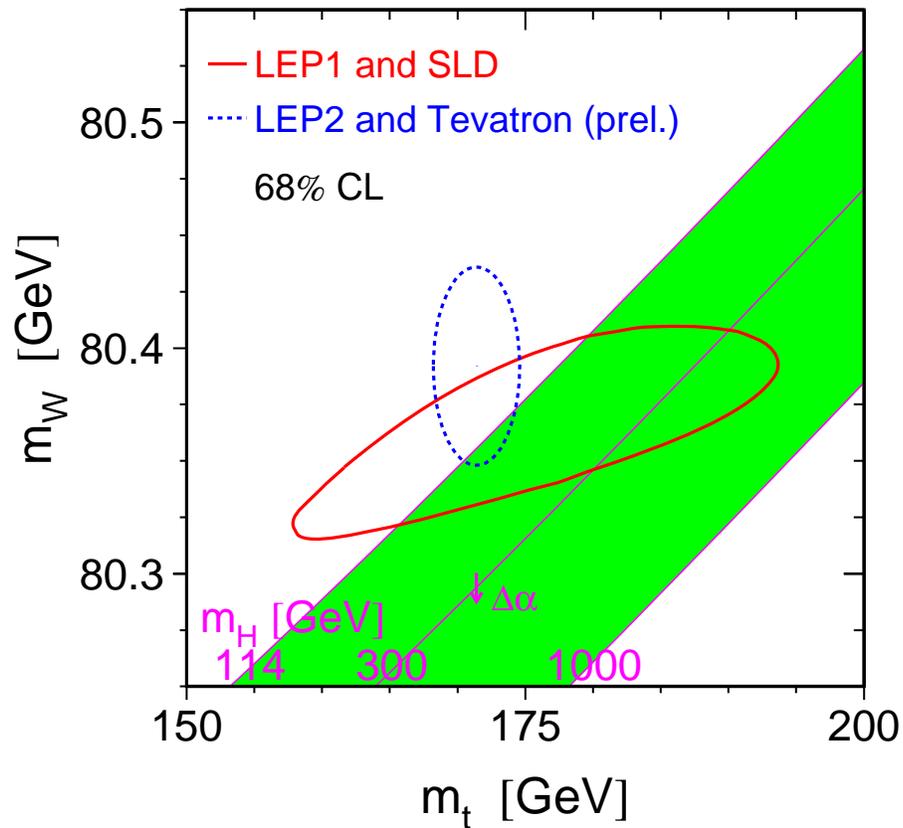


図 2: 質量の輻射補正計算よりトップクォークの質量とWボソンの質量はヒッグス粒子の質量が決まると一定の曲線にのる関係をもつ。すなわち、トップクォークの質量とWボソンの質量が決まるとヒッグス粒子の質量が決まる。2006年夏時点でのテバトロンでのCDF実験とD0実験で測定したトップクォークの質量とCDF, D0, LEP2実験で測定したWボソンの質量が68%の信頼度で点線で囲まれた領域にある。

の質量を間接的に測定することができた。95%信頼度で質量上限値として $166 \text{ GeV}/c^2$ が得られた(図3)。この上限値は2004年春時点でのヒッグス質量上限値 $252 \text{ GeV}/c^2$ を大幅に下げる結果となった。この結果、2003年にLEP2実験のヒッグス粒子直接探索によって得られているヒッグス粒子の質量の下限値 $114 \text{ GeV}/c^2$ と合わせると $114 \text{ GeV}/c^2 \sim 166 \text{ GeV}/c^2$ という狭い範囲にヒッグスの質量を限定することができた。

4.1.2 ヒッグス粒子直接探索

ヒッグス粒子直接探索としては、ヒッグス粒子の質量によって三つのチャンネルで探索を行なった。

LEP2実験の与える質量下限値の辺りでは、ヒッグス粒子は主に b クォーク対に崩壊する。この場合

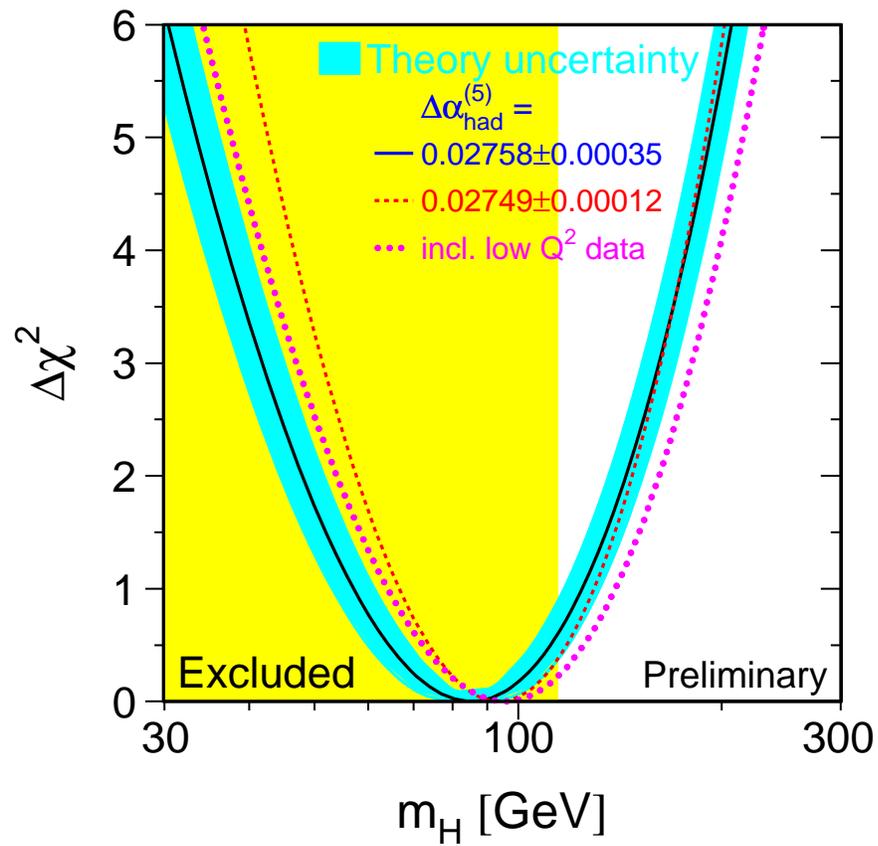


図 3: ヒッグス粒子の質量の間接測定結果。ヒッグス粒子の質量上限 $166 \text{ GeV}/c^2$ が得られた。

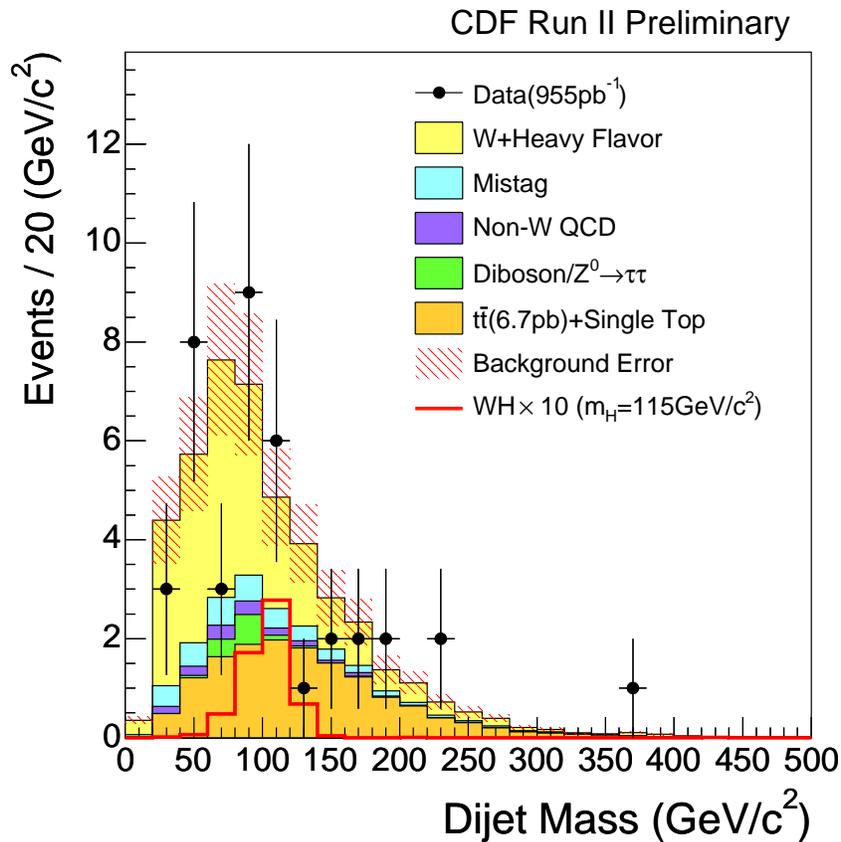


図 4: $\bar{p}p \rightarrow WHX \rightarrow \ell\nu b\bar{b}X$ 過程によるヒッグス粒子の探索。 $b\bar{b}$ クォークジェット対の質量分布。

QCD 過程による b クォークジェット生成事象のバックグラウンドが非常に大きいので、バックグラウンドを除去するために、 W/Z 粒子とヒッグス粒子が随伴生成してヒッグス粒子がボトムクォーク対に崩壊するチャンネルで探索した。 W/Z 粒子を様々な崩壊モードで同定し、 b クォークジェットと同定されたジェットを 2 つ捕らえることで、信号探索を行なった。選ばれた信号候補事象の b クォーク対の質量分布が図 4 に示される。主要なバックグラウンドは QCD 過程による W と $b\bar{b}$ の随伴生成である。この結果、軽いヒッグス粒子 ($M_{Higgs} = 120 \text{ GeV}/c^2$) については生成断面積上限として 2.5pb を得た。標準理論のヒッグスの信号を検出するには信号量が 1 桁以上不足、実際に信号候補事象はすべてバックグラウンドで説明できるものであった。

中間質量領域 ($M_{Higgs} = 140 \text{ GeV}/c^2$ 程度) ではヒッグス粒子は WW^* 対にも崩壊するので W 粒子とヒッグス粒子が随伴生成してヒッグス粒子が WW^* 対に崩壊するチャンネルで探索した。終状態に 3 つの W 粒子が存在するので、これらの内二つが同符号の電荷のレプトン (電子あるいは μ 粒子) に崩壊するモードで同定し信号探索を行なった。この探索の結果、質量 $140 \text{ GeV}/c^2$ のヒッグス粒子の生成断面積上限として 8pb を得た。

重いヒッグス粒子 ($M_{Higgs} = 160 \text{ GeV}/c^2$) については、QCD 過程によるバックグラウンドが非常に小さいので、ヒッグス粒子が直接生成されて、 W ボソン対に崩壊するモードで探索する。終状態に高エネルギーのレプトン (電子あるいは μ 粒子) が 2 つとニュートリノによる大きな消失エネルギーが存在

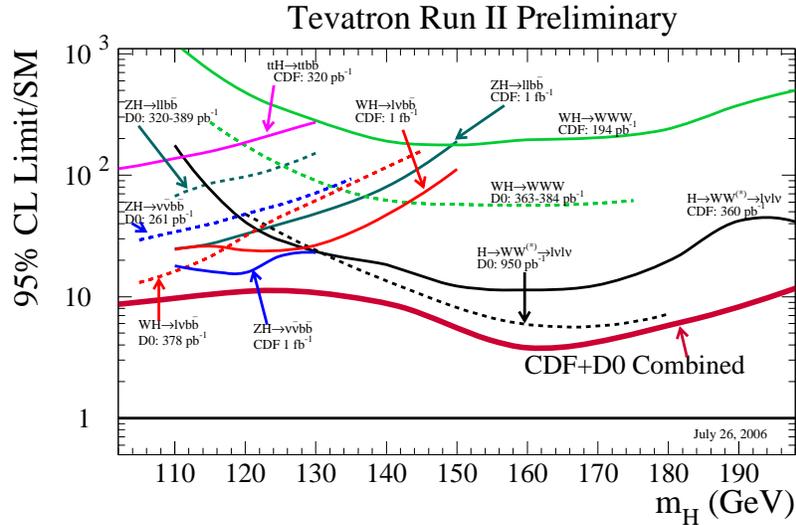


図 5: ヒッグス粒子の探索結果。ヒッグス粒子の質量に対して、その生成断面積上限を標準理論の予言値で割ったものでプロットした。

するチャンネルで信号探索を行なった。その結果、質量 160 GeV/ c^2 のヒッグス粒子の生成断面積上限として 3.2pb を得た。

以上 3 つのチャンネルでのテバトロン実験 (CDF と D ゼロ) の探索結果をまとめて図 5 に示す。現在ヒッグス粒子の生成断面積上限が最も標準理論の予言値に近い質量 160 GeV/ c^2 では、測定された生成断面積上限と理論予言値の違いが 3 倍程度である。テバトロン実験では、現在さらにデータ収集が続けられており、2009 年末には現在の約 10 倍のデータが得られるので、この質量 160 GeV/ c^2 の領域のヒッグス粒子の存在の有無については、その解析で明らかになる。さらに信号・バックグラウンド比を改良することによって、生成断面積上限を下げるために解析方法の検討が行なわれている。

4.1.3 電弱相互作用

W/Z ボソン生成の研究が Run I に引続き行われ、 $W^+ \rightarrow \ell^+ \nu$ および $Z^0 \rightarrow \ell^+ \ell^-$ 崩壊事象を用いた、新たな重心系エネルギー 2.0 TeV での生成断面積の測定がなされた。いずれの場合も、バックグラウンドの少ない再構成が実現されている。測定された生成断面積は

$$\begin{aligned} \sigma(\bar{p}p \rightarrow W^\pm X) \cdot \mathcal{B}(W^\pm \rightarrow \ell^\pm \nu) &= 2.64 \pm 0.01 \pm 0.09 \pm 0.16 \text{ nb} \\ \sigma(\bar{p}p \rightarrow Z^0 X) \cdot \mathcal{B}(Z^0 \rightarrow \ell^+ \ell^-) &= 267.0 \pm 6.3 \pm 15.2 \pm 16.0 \text{ pb} \end{aligned}$$

である。誤差はそれぞれ統計、系統、および積分輝度による。これらを重心系エネルギーの関数として示したものが図 6 である。Run I 実験での結果および CERN $S\bar{p}pS$ での実験の測定も表示してある。理論予測 (曲線) も合わせて示されているが、全体的に極めて一致が良い。重心系エネルギーが 1.8 TeV か

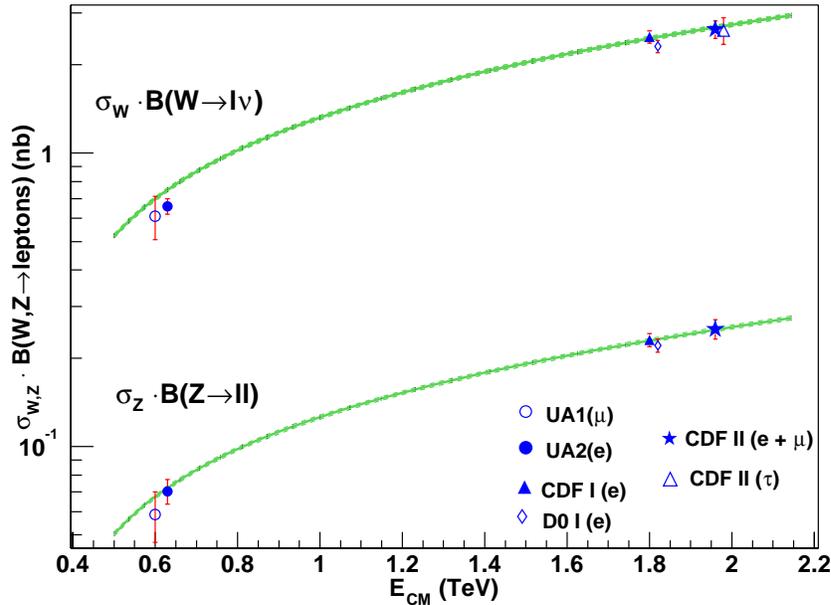


図 6: W^\pm および Z^0 ボソンの生成断面積を重心系エネルギーの関数として表したもの。

ら 2.0TeV に増強されたことにより、予想通り生成断面積が約 9%増加した。W ボソンの質量測定の解析は現在進行中である。

W ボソンと光子の随伴生成を測定することによって $WW\gamma$ がゲージ結合であることを検証する。200pb⁻¹ のデータを用いて、W の電子崩壊モード (μ 粒子崩壊モード) で 195 事象 (128 事象) の W ボソンと光子の随伴生成事象を観測した。これらは、標準模型の予測する 194.1 ± 19.1 (142.4 ± 9.5) 事象と矛盾しない。光子の横エネルギー分布もバックグラウンドを加えた標準模型で期待される分布と良く一致している。

4.1.4 QCD の物理

QCD 理論は陽子・中性子の質量起源として重要だが、CDF Run I 実験では多くの測定結果を用いて QCD 理論検証を行ない、その正しさを証明した。しかしながら チャームクォークからできている J/Ψ 粒子と $\Psi(2s)$ 粒子の直接生成断面積の測定結果は QCD 理論予言値の約 50 倍と大きく理論からずれた。RunI では、データ収集のトリガーの閾値が高いためにこの断面積は横運動量が 5GeV/c 以上の領域でのみ測定可能であった。現在データ収集中の CDF Run II 実験ではトリガーの閾値を下げることで、図 7 に示すように、 J/Ψ 粒子の生成断面積を全運動量領域で測定することができた。生成全断面積は、 $\sigma(\bar{p}p \rightarrow J/\Psi X, -0.6 < y(J/\Psi) < 0.6) \times Br(J/\Psi \rightarrow \mu\mu) = 240 \pm 1(stat) + 35/-28(syst)$ nb である。この測定結果は横運動量が 5GeV/c 以上の領域で Run I の結果を再現している。低い運動量領域での理論との比較は現在進めつつある。

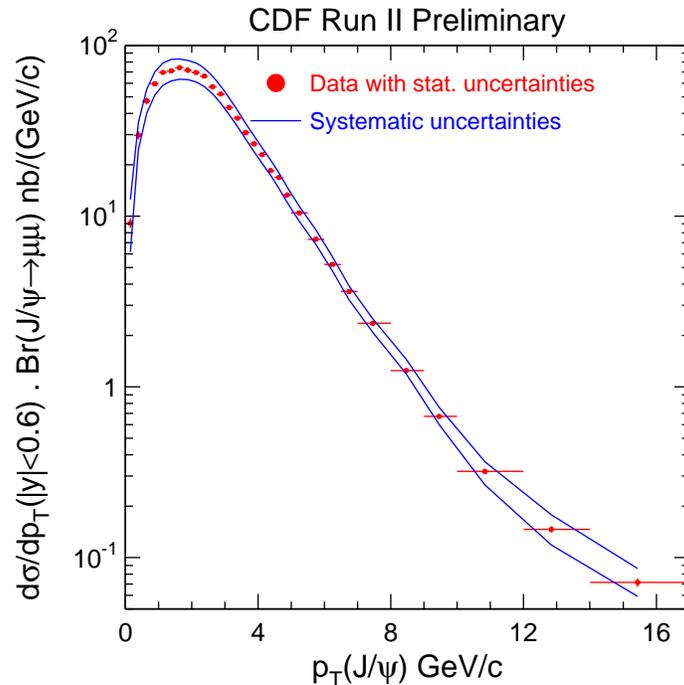


図 7: J/Ψ 粒子の生成断面積を横運動量の関数として表したもの。

4.1.5 B の物理

CDF 実験では B_s 中間子, B_c 中間子などの重い B ハドロンが生成されることと, b クォークの生成断面積が電子陽電子衝突実験に比べてはるかに大きいことから, 電子陽電子衝突による B ファクトリー実験と相補的な B の物理研究が行なわれてきた。

B_c 中間子は CDF 実験 Run 1 で 1998 年に $B_c \rightarrow J/\psi \ell \nu$ 崩壊モードで 20 個の信号として発見された。今回 Run 2 では同じ崩壊モードでの信号が約 20 倍検出され, その信号を用いて測定した寿命は $0.474 + 0.073 / - 0.066(\text{stat}) \pm 0.033(\text{syst})$ ps であった。これは Run 1 で測定した寿命の精度を 3 倍程度改良した結果となった。この結果は標準理論の予言と一致した。また $B_c \rightarrow J/\psi \pi$ 崩壊モードでも信号を観測し, これを用いて B_c 中間子の質量を測定した結果, $6275 \pm 4.6(\text{stat}) \pm 2.3(\text{stat})$ MeV/ c^2 であった。これは Run 1 で測定した質量の精度を約 100 倍改良した結果となった。この結果も標準理論の予言と一致した。

B_s 中間子の粒子反粒子振動の観測は CDF Run 2 実験における B の物理の最重要研究課題としてきたものである。粒子反粒子振動は, これまでに K 中間子と B_d 中間子のみで観測されてきた。 B_s 中間子では振動数が高く, 観測が困難であることが, 標準理論の枠組で CP 対称性の破れを説明する小林益川理論で予言されていたが, 2006 年春に B_s 中間子振動を信頼度 99.8 % で観測することに成功した。この結果は多くの新聞で報道された。

B_q 中間子 ($q = d, s$) の粒子反粒子振動の角振動数 (Δm_q) は小林益川行列の $|V_{tq}|$ 成分と関連している。 B_s 中間子の粒子反粒子振動の角振動数 (Δm_s) を精度良く測定すると, 既に測定されている Δm_d と

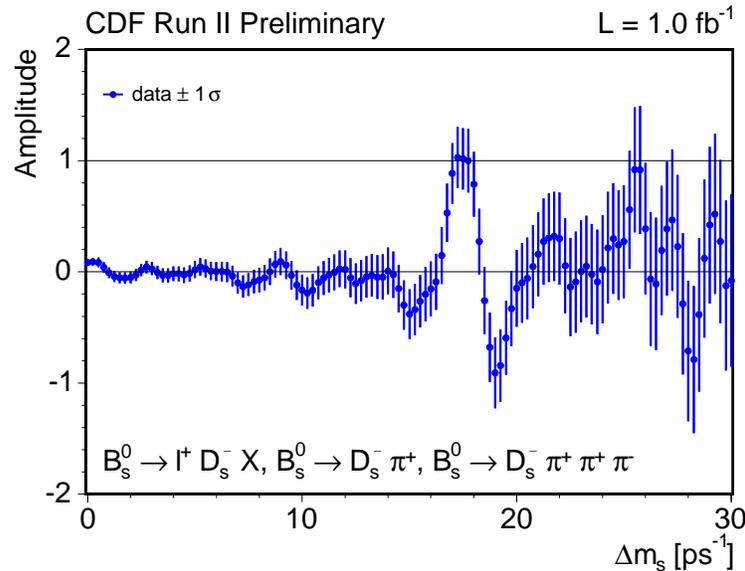


図 8: B_s 中間子の粒子反粒子振動の振幅を角振動数に対して求めた曲線。振幅は振動があるときには 1 になり、振動がないときには 0 になるように規格化されている。この振幅が有意に 1 になる角振動数として $\Delta m_s = 17.31 + 0.33 / -0.18$ (統計誤差) ± 0.07 (系統誤差) ps^{-1} が得られた。

の比をとることによって、理論の不定性を小さく抑えて $|V_{td}/V_{ts}|$ を決定することができる。積分ルミノシティ 1fb^{-1} のデータを解析して $B_s \rightarrow \pi D_s$ ($\rightarrow \phi\pi, K^*K$ or $\pi\pi\pi$) or $3\pi D_s$ のハドロニック崩壊モードの信号候補を 3,600 事象, $B_s \rightarrow \ell\nu D_s$ のセミレプトニック崩壊モードの信号候補を 37,000 事象検出した。これらを用いて振動のフーリエ振幅解析を行なった結果を図 8 に示す。角振動数 (Δm_s) の測定結果は $17.31 + 0.33 / -0.18$ (統計誤差) ± 0.07 (系統誤差) ps^{-1} となり、小林益川理論の予言値と矛盾せず、また予言精度よりもはるかに測定精度が高い。Bs 中間子振動の振動数の測定によって小林益川行列のトップクォークとストレンジクォークの結合が $|V_{td}/V_{ts}| = 0.208 + 0.008 / -0.006$ と高精度で決定できた。今回の結果が振動がないときに観測に伴う統計的ゆらぎで得られる確率は 0.2 % である。言い換えると今回の結果から B_s 中間子の粒子反粒子振動を観測した確率は 99.8 % である。

B_s 中間子の粒子反粒子振動の振動数の測定は小林益川行列のトップクォークとストレンジクォークの結合を高精度で決定するのに重要な役割を果たすものであり、今後の小林益川理論の検証には不可欠な測定である。

4.1.6 新粒子の探索

超対称性粒子の直接探索を行った。超対称性理論の多くのモデルでは、三世代目の超対称性粒子であるストップ粒子は比較的質量が軽いと予想されている。このストップ粒子を、R パリティを破る超対称性理論の枠組みを仮定して探索した。ストップ粒子は、テバトロンにおいて対生成すると考えられるが、R パリティを破るモデルでは、ストップ粒子はタウ粒子 (τ) と b クォークに崩壊可能となる。一方のタウ粒子が電子またはミューオンへ崩壊し、もう一方がハドロンへ崩壊するモードにおいて探索を行った。

事象選別した結果、ストップ粒子対の候補事象はなかった。ストップ粒子が常にタウ粒子と b クォークに崩壊するとして、ストップ粒子の質量下限値 $151 \text{ GeV}/c^2$ (95%信頼度)を得た。

超対称性理論で存在を预言されるチャージノ粒子・ニュートラリーノ粒子の随伴生成事象を、共にレプトニック崩壊して終状態に二つ以上の電子またはミューオンがあるモードにおいて探索を行った。事象選別した結果、この候補事象はなかった。この結果から、チャージノ粒子の質量下限値 $127 \text{ GeV}/c^2$ (95%信頼度)を得た。

標準理論を拡張したモデルのうち、新たな $U(1)$ 群を含むモデルでは Z' ボソンが存在する。我々は、 $Z' \rightarrow e^+e^-$ の崩壊過程で探索を行った。データは、標準理論からの予想とよく一致した。これより、結合定数が標準理論と同じだと仮定することで、 Z' の質量下限値 $850 \text{ GeV}/c^2$ (95%信頼度)を得た。

4.1.7 シリコン飛跡検出器

CDF 実験は LHC 加速器が本格的に稼働を始める 2008 年ごろまでは、エネルギー最先端の物理を産み出し続ける唯一の実験である。CDF 実験は 2009 年末までデータ収集を行ない、最終的に約 8fb^{-1} 相当のデータを蓄積する予定である。これは現在までに解析したデータの約 10 倍であり、素粒子物理学に対し多大な貢献をすると期待される。現在 Run II で使用されているシリコン飛跡検出器は、放射線損傷のため、 4 fb^{-1} 相当で性能が劣化する。そのため、放射線耐性に優れた SVX IIb シリコン検出器の設計を行ない、シリコンセンサーの試作器を製作し、テストを行ない、その性能が要求を満足することを確認した後、実機用シリコンセンサーを製作した。新しいシリコンセンサーは寸法約 $96 \text{ mm} \times 41 \text{ mm}$ の片面読みだし型である。試作器として 116 枚を製作し、電気的、機械的特性を評価した。その結果、ほとんどが 1000 V まで大きな電流増加を示さず、目標とする 500 V までの稼働を十分可能にしている。また、製造元のデータと比較するためにデッドチャンネルを自動プローブを用いて評価した。製造元のデッドチャンネルはすべて確認できたが、いくつか製造元の検査方法では捉えられないものもあった。しかし、デッドチャンネルの割合は 0.08% と極めて低い。この他、長期安定性等にも優れている。放射線を浴びたセンサーの性能を評価するために、 $0.4 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ 中性子を照射し、様々な電気的性能の評価をした。この線量は最も内側のセンサーが 15fb^{-1} の期間に浴びる量である。全空乏化電圧の変化や暗電流の増大は既に知られている値となり期待通りであった。しかし、電極間容量、抵抗などを適正な値にするには、全空乏化電圧よりも 200 V 程度高い 300 V のバイアス電圧が必要である。開発したセンサーは 500 V の高電圧耐性をもつため、放射線照射後も十分な性能を発揮できる。試作したセンサーに新しく開発された SVX4 読みだしチップを実装してノイズの評価を行った。現行のシリコン検出器よりも 3 割優れた S/N を実現できた。シリコン飛跡検出器の開発テストを行ない、以上のテスト結果が得て、その性能が要求を満足することを確認した後、実機用シリコンセンサーを製作した。

4.1.8 公募研究の成果

公募研究「高放射線環境下での素粒子実験用電子回路の動作保証技術の研究」では、大強度ビーム実験での高放射線環境に置かれる前置電子回路系開発に必要となる電子部品・半導体プロセス等への放射線の影響を調査している。半導体素子への放射線の蓄積的效果としては TID(Total Ionization Doze) に着目し、東京大学原子力総合センターの Co60 線源を用いてサンプルへの照射を行い、半導体パラメータの劣化等を観測した。放射線の確率的効果は SEE(Single Event Effect) と呼ばれるが、7MeV 以上のハドロンで効果が顕著となると考えられており、東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンターの 70MeV 陽子ビームを照射し、SEE を観測し、素子毎の SEE 断面積を求めた。

公募研究「ヒッグス粒子自己結合定数測定のための測定器及びジェットエネルギー測定法の開発」では自己結合測定の理論的誤差限界を世界で始めて系統的に見積もり、質量 100-200 GeV に対し、500GeV から 1.5TeV におけるエネルギー依存性を明らかにした。エネルギーの拡張可能性を検討し、また測定器への制限として、地下大空洞の横幅を現在の設計試案の約 2 / 3 に縮小することが望ましいことがわかった。既に、バックグラウンドを含め 6 体の終状態まで疑似データを干渉まで考慮して生成することに成功し、測定器の系統的な詳細シミュレーションを行うための基礎が確立した。現在、データ解析を進めている。

公募研究「シンチレータストリップを用いた高性能電磁カロリメータの開発」では、電磁シャワーを 3 次元的に再構成できる鉛板とシンチレータストリップのサンドイッチ型サンプリングカロリメータの開発を行っている。2002 年度に試作機を作成し、11 月に高エネルギー加速器研究機構でテストビーム実験を行った。電子に対するエネルギー分解能、位置分解能、入射角分解能についてデータ解析を進めている。

公募研究「SiC 半導体による放射線検出器の開発・研究」では、半導体工学の分野で将来性のある SiC 半導体の放射線検出器としての応用のための基礎的な研究を行った。pn 接合型検出器について、整流性 (I-V 特性) と可変容量 (C-V 特性) の 2 つの電気的静特性を測定した。放射線源として ^{234}Am -線 (エネルギー 5.48MeV)、さらに 6H-SiC の禁制帯幅が 2.86eV であることから、波長 375nm(3.31eV) の紫外線発光ダイオードを用いた紫外線に対する評価も行った。これらにより、SiC の半導体検出器としての動作を確認した。

公募研究「ヒッグス粒子探索のためのタウ・トリガーの開発」ではヒッグス粒子特に SUSY ヒッグス粒子は大きな分岐比でタウ粒子に崩壊するので、トリガーの段階でタウ粒子を同定することはヒッグス粒子探索に非常に有効である。我々が開発したシリコンストリップ検出器のビームテストを行い、タウの娘粒子のインパクトパラメータを測定できると考えられるトラッキング性能を得た。また、タウ粒子の崩壊の特徴をシミュレーションにより再現し統計的手法により、タウ粒子崩壊の際のインパクトパラメータ、ジェットの内部構造や形など数種のパラメータを複合的に検討し、タウ・トリガーの最適条件を

求めている。

公募研究「高輝度衝突型加速器による粒子多重度の高い素粒子実験のための中央飛跡検出器の開発」では、LHCなどの次世代大型加速器による素粒子実験の中央飛跡検出器の素材としてシンチレーティングファイバー（Sci-Fi）を用いることを想定し、Sci-Fiの発光をアバランシェフォトダイオード（APD）で読み出す方式の雛形飛跡検出器の製作、およびその性能評価を行った。特に、APDについては、Sci-Fiの発光波長域（500～600 nm）で量子効率が90%に達するものを特別に開発した。そして、膨大な数のSci-Fiをコンパクトに読み出せるよう、このAPDをICパッケージの中に密に集積したAPDアレイを作製した。アレイ中のひとつの受光面の直径は1 mmである。APDには、光電子増倍管などと比べて、量子効率が高いが、S/N比が良くないという欠点がある。しかし、本研究における雛形飛跡検出器の性能評価の結果、APDを-50℃以下に冷却することによってS/N比が飛躍的に改善されることが分かり、Minimum Ionizing Particleの飛跡を100%近い検出効率で捉えることができた。

公募研究「ハドロン加速器ビーム増強のための誘導加速装置の開発」では、昨年度設計・製作した誘導加速装置R&D2号機の電源側からと加速ビーム側から見たインピーダンス特性の測定の結果ほぼ設計に近い事が確認された。一連の測定結果から実証試験に用いるエンジニアリングモデルの仕様が決定された。一方、長パルスである誘導加速電圧に特徴的なドループの誘導加速シンクロトロンでの縦方向運動に与える影響が理論と多粒子シミュレーションにより体系的に検討された。その結果ドループの対策が不可欠である事が見いだされた。

公募研究「超対称ヒグス粒子の探索」では、超対称ヒグス粒子の探索に関して超対称シーソー模型に基づいたヒグス粒子の研究をおこなった。超対称シーソー模型では、ニュートリノとその超対称パートナーであるスカラーニュートリノによって中性ヒグス粒子が輻射補正をうける。本研究では、ニュートリノとスカラーニュートリノによる中性ヒグス粒子の質量に対する輻射補正を研究した。質量に対する繰り込みをおこなうための質量カウンター項を質量補正の発散部分を計算することで決定した。超対称模型に特徴的なスカラーニュートリノの質量固有状態をもとめ、超対称性を破る項によってCPの異なるスカラーニュートリノ間に混合が起きることを確認した。この効果を中性ヒグス粒子の輻射補正に取り入れヒグス粒子の混合やCP変換に対する性質にどのような影響があり、実験的に探索できるかを研究している。

公募研究「高放射線環境下での素粒子実験用電子回路の安定動作技術の確立」では、14TeVの陽子・陽子衝突実験の測定器周辺の放射線被爆環境でのエレクトロニクス劣化とその対応策を検討した。研究はその10年間で浴びる放射線を様々な放射線施設の機器を借用して、1時間以内にエレクトロニクス個々の備品に照射させ、照射前後での性能を評価することによって行った。評価したものはCMOS0.35 μmフルカスタムチップ、RAM型FPGA、Anti-fuse型FPGA、さらにLVDSあるいはG-link serializers/deserializers、ボルテージレギュレータ等である。FPGAに関してはRAM型はやはり使用できず、FPGAとしての役割を担うにはAnti-fuse型焼き切りタイプのものを使用すべきとの結論に至った。CMOSフルカスタム

チップにしても FPGA にしても、被爆の蓄積的效果によるダメージよりシングルイベント効果によるフリップフロップの誤動作がもっとも深刻であることが判明した。RAM 型 FPGA が使用できないというのもこの理由からである。レジスタを含む回路をカスタムチップに組み込む場合、それらのより安定・安全な動作を確保したければ、それらレジスタを構成する各フリップフロップは 1 ビットにつき例えば重複して 3 個用意して多数決により内容を確定させるといったことを行わなければならないとの結論に至った。

公募研究「超小型シンチレータータイルをもちいたデジタルハドロンカロリメータの開発研究」では、デジタルハドロンカロリメータの基礎的シミュレーションを行った。超細分化された単位の小型測定器を多数作り、これで各層を作る、さらにこれをサンドイッチ型カロリメータに作り上げる形式を取った。最小構成単位の数が膨大になるため、読み出しに費用を掛けない為に、デジタル読み出しをすることが提案されている。そのうえデジタル読みだしはアナログ読み出しよりエネルギー分解能がよいというシミュレーションが現れた。これをチェックし、実現する為に種々の開発を行った。1) 最小測定単位である超小型シンチレーターのサイズについては、おおむね 1 cm x 1 cm 程度で十分な性能が出るということが分かった。2) エネルギー分解能は、アナログと同程度であることが示された。3) 完全なデジタル読み出し、信号を 0 か 1 でデジタル化して、その個数だけで分解能を議論すると、エネルギーの線形性が崩れることを見いだした。その理由は、大きなエネルギーの中性パイ粒子が生成される場合で、あることを突き止めた。4) これを改善する方法として、セミデジタル読み出しを提案した。すなわち、0,1,10,100 MIP 単位での 3 個の閾値を設ける事により、中性パイ粒子の寄与を平滑化し、線形性を復元できることを示した。5) 超小型シンチレーターの開発もすすみ、1 cm x 4 cm x 2 mm からの光の読み出しに成功している。

公募研究「APD によるシンチレーティングタイル・ファイバー型カロリメータの読み出し」では、LHC などの次世代大型加速器による素粒子実験で使用される予定のシンチレーティングタイル・ファイバー型カロリメータで、カスケードシャワー発生時のシンチレーティングタイルの発光を読み出すための受光素子として、光電子増倍管等よりもはるかに高い量子効率を持つ「アバランシェフォトダイオード (APD)」を用いることによって、カロリメータのエネルギー分解能の向上を図ることができるか否かを調べた。APD は、二次電子増倍率 (Gain) をあまり大きくすると、過剰雑音係数が大きくなり、エネルギー分解能の低下を招き、逆に Gain をあまり小さくすると、S/N 比が小さくなり、やはりエネルギー分解能が低下する。本研究の結果、APD の Gain を 20 倍程度に保ったときに、最も高いエネルギー分解能が得られることが分かった。また、このときのエネルギー分解能は、光電子増倍管を用いるよりも若干ながら良くなることも分かった。

4.1.9 主要論文

- “Precision Top-Quark Mass Measurement in the Lepton+Jets Topology in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. 96, 022004 (2006).
- “Measurement of the $B_s^0 - \bar{B}_s^0$ Oscillation Frequency”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. 97, 062003 (2006).
- “Measurement of the J/ψ meson and b -hadron production cross sections in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1960$ GeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D 71, 032001 (2005).
- “Measurement of the $t\bar{t}$ production cross section in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV using kinematic fitting of b -tagged lepton+jet events”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D 71, 072005 (2005).
- “Search for Higgs Bosons Decaying to $b\bar{b}$ and Produced in Association with W Bosons in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. 96, 081803 (2006).
- “Measurement of the B_c^+ Meson Lifetime Using $B_c^+ \rightarrow J/\psi e^+ \nu_e$ ”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. 97, 012002 (2006).

主要論文

4.2 A02 B ファクトリーを用いた質量起源の探求

本計画研究の目的は、KEKB ファクトリー実験の第二段階として、標準理論の先にあると思われる、より基本的な物理法則についての手がかりを得ることにある。標準理論は、個々のフェルミオンの質量が、なぜ現在観測されているような値になっているのかを説明することはできない。さらに、ニュートリノのフレーバー振動現象の発見は、ニュートリノの質量がゼロでないことを意味し、従って、ニュートリノは質量をもたないと仮定する標準理論に、その変更を迫っている。本計画研究は、個々のフェルミオンの質量はどのような原理・法則のもとに決まっているのかを説明する、標準理論の先にあるより基本的な物理法則の発見を目指して、新しい物理が出現すると期待されている B 中間子の稀な崩壊過程を精密測定することを目的としてきた。この精密測定を遂行するために、本計画研究では、第二世代のシリコンバーテックス検出器 (SVD2, 図 9 参照) を建設した。SVD2 では高い放射線耐性 (20Mrad までの耐性) をもつ IC や新しいシリコンストリップセンサーを用いることにより、B 中間子崩壊位置の測定精度を 100 ミクロンから 70 ミクロンに改善した。さらに、4 層の検出器構造を採用することにより、小さな運動量の荷電粒子の検出効率も向上させた。



図 9: 第 2 世代シリコンバーテックス検出器 (SVD2)

4.2.1 小林・益川理論の実験的検証：B 中間子系における CP 非対称の超精密測定

本計画研究の研究者らは、平成 13 年 (2001 年) に B 中間子における粒子・反粒子非対称 (CP 非対称) を発見した。この発見の要となったのは、第 1 世代のシリコンバーテックス検出器 (SVD1) である。我々は、引き続き CP 非対称の測定精度を高め、これまでに SVD1 を用いた 152×10^6 の B 中間子・反 B 中間子ペアと SVD2 を用いた 383×10^6 B 中間子・反 B 中間子ペアのデータ収集に成功した。このデータから、およそ 7400 個の $B^0 \rightarrow J/\psi K_S$ と 6500 個の $B^0 \rightarrow J/\psi K_L$ を選び出し、 B^0 中間子と反 B^0 中間子の崩壊時間分布 (中間子・反中間子ペアの一方が崩壊してから、他方が崩壊するまでの時間差 (ピ

コ秒))を測定した．図 10 の上の図は，両者の時間分布をプロットしたもので，2つの曲線は，この崩壊をひき起こした弱い力が CP 対称ならば，重なるはずのものである．実験データは，両者の間の明らかな違いを示している．下の図は，両者の差をプロットしたもので，中間子・反中間子混合の周期に起因する正弦波が見える（この振動数は， 0.5 ps^{-1} である．）正弦波の振幅が $\sin 2\phi_1$ と呼ばれる CP 非対称度を示すパラメータに比例している（ $\sin 2\phi_1 = 0$ は， CP 対称を意味し， $\sin 2\phi_1 = 1$ あるいは -1 は， CP 非対称度が最大であることを意味する）．我々は，このデータから，

$$\sin 2\phi_1 = +0.642 \pm 0.031(\text{stat}) \pm 0.017(\text{sys})$$

を得た．この結果は，他の測定から間接的に得られた $\sin 2\phi_1$ の制限値とよく一致している．この結果は，クォークの世界における CP 非対称が，小林・益川理論（ CP 非対称の起源は，3世代のクォーク対の混合にあるとする理論）によって記述されることをさらに確実にするものである．小林・益川理論の正しさは，もはや全く疑う余地はない．さらに，我々の結果の精度は，競争相手であるスタンフォード大学加速器センターの実験グループ (BaBar) の精度をはるかに上回り，現在，世界最高の測定精度を誇っている．

図 11 は，CKM ユニタリー三角形と呼ばれ，CKM 行列がユニタリーであることから導かれる複素平面上の三角形である．このユニタリー三角形の3つの角度および3辺の長さをそれぞれ独立に測ることができる．現状では，全ての測定がほぼ一致しており，標準理論の成功を示している．

4.2.2 B 中間子崩壊における量子効果を用いた新しい物理の探索

図 12 は， B 中間子を構成するボトムクォークが量子ゆらぎによって，トップクォーク（ボトムクォークの35倍の重さを持つ）と W ボゾン（ボトムクォークの16倍の重さを持つ）に分かれるループダイアグラムを表している．もし超対称性粒子のような未知の重い粒子が存在し，その粒子も同様のループを構成する場合，この崩壊過程の CP 対称性に敏感に反映されると考えられている．我々は，これまでに収集した全データを使って， $B^0 \rightarrow \phi K^0$ ， $B^0 \rightarrow \eta' K^0$ ，そして $B^0 \rightarrow K_S^0 K_S^0 K_S^0$ 反応のそれぞれにおいて CP 非対称度を測定し， $B^0 \rightarrow J/\psi K^0$ のそれと比較した．質量起源の理由となり得る新しい物理は， CP 非対称度の違いを生むはずである．図 13 に結果を示した．また，非対称度の大きさを表 4 にまとめている．さらに，他の反応も含めた $b \rightarrow sg$ ペンギンモードについての CP 非対称性の測定結果を図 14 に示した．

表 4: CP 非対称度の測定結果．標準理論では，すべて $J\psi K^0$ 反応の値に等しくなる．

反応	$\sin 2\phi_1^{\text{eff}}$
$J/\psi K^0$	$+0.642 \pm 0.031 \pm 0.017$
ϕK^0	$+0.50 \pm 0.21 \pm 0.06$
$\eta' K^0$	$+0.64 \pm 0.10 \pm 0.04$
$K_S^0 K_S^0 K_S^0$	$+0.30 \pm 0.32 \pm 0.08$

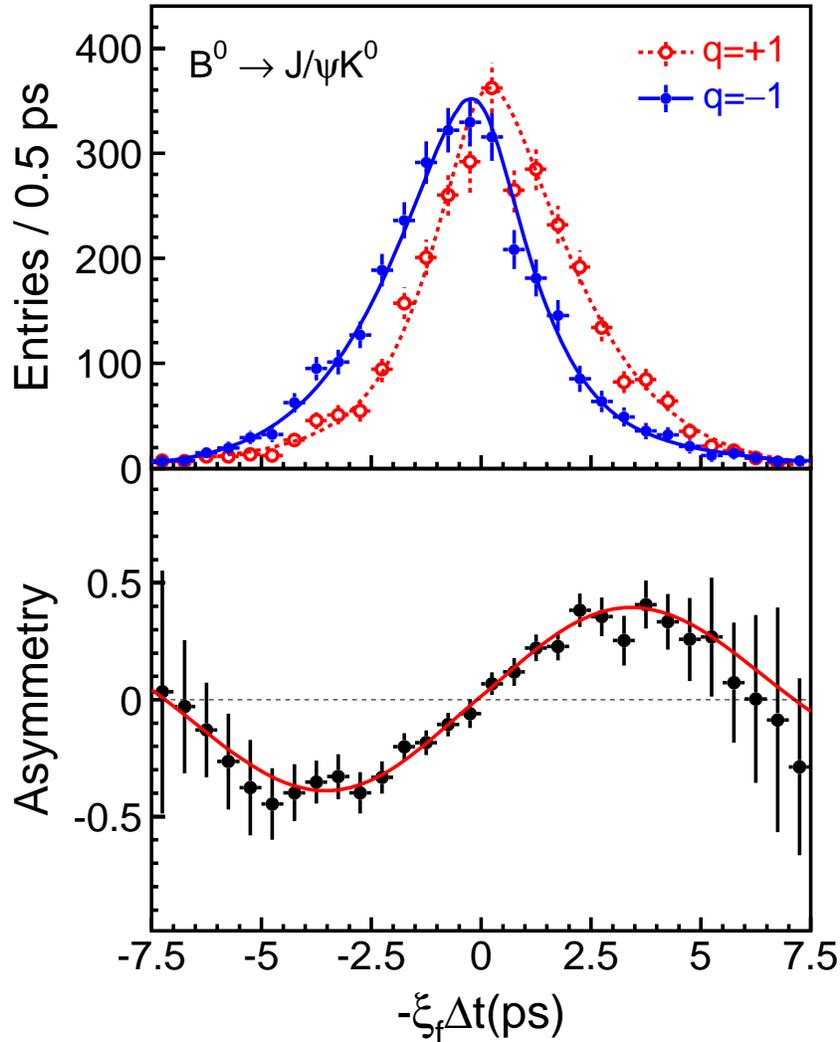


図 10: 上の図: B^0 中間子 ($q=-1$) と反 B^0 中間子 ($q=+1$) の CP 固有状態への崩壊時間分布 (単位: ピコ秒 10^{-12} s). 両者の分布の差が CP 非対称を意味する. 下の図は, 上の図から計算された, CP 非対称度で, 正弦波の振幅が, CP の破れの大きさを示すパラメータ $\sin 2\phi_1$ に比例する.

$B^0 \rightarrow \eta' K^0$ の CP 非対称の統計的有意差は 5.6σ であり, $B^0 \rightarrow J/\psi K^0$ の CP 非対称に次ぐ B 中間子系における CP 非対称の発見である. $B^0 \rightarrow \phi K^0$, $B^0 \rightarrow K_S^0 K_S^0 K_S^0$ の非対称度は, わずかに $B^0 \rightarrow J/\psi K^0$ の値からずれているが, 統計精度はよくない. 標準理論を超える理論モデルの多くが, CP 非対称度の標準理論からのわずかなズレを予言していることを考慮すると, これらの反応の測定精度を一層あげて, 標準理論からのズレの大きさを確定することが必要である.

4.2.3 中性 B 中間子の $\pi^+ \pi^-$ 崩壊における CP 非対称の発見

$B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ は, CP 非対称の出現が期待される崩壊モードの一つであるが, 分岐比が 10^{-6} と $B^0 \rightarrow$

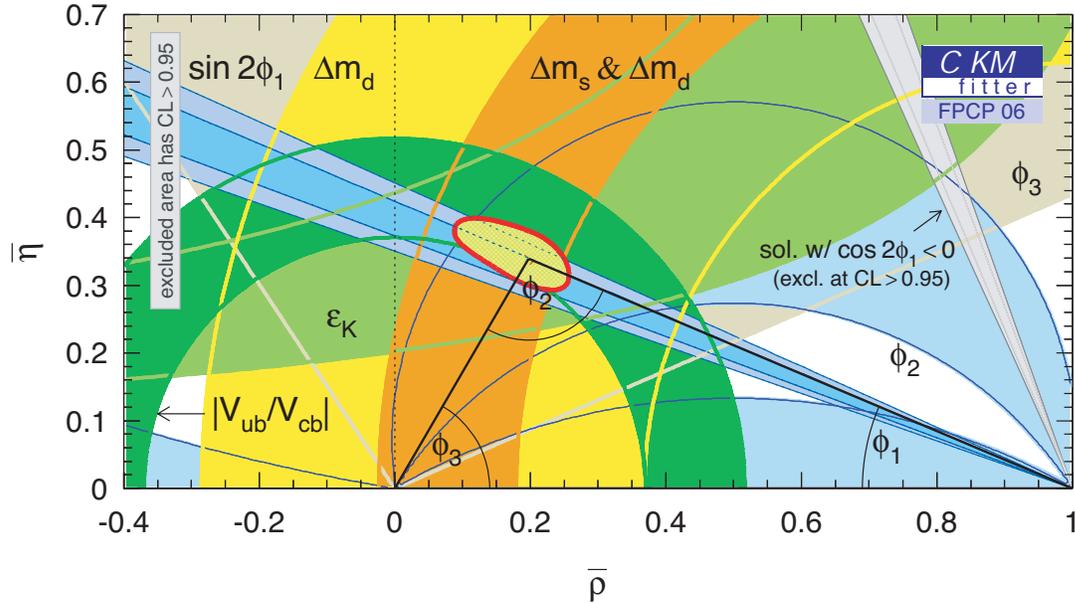


図 11: CKM ユニタリー三角形：すべての測定結果が標準理論と矛盾していない。

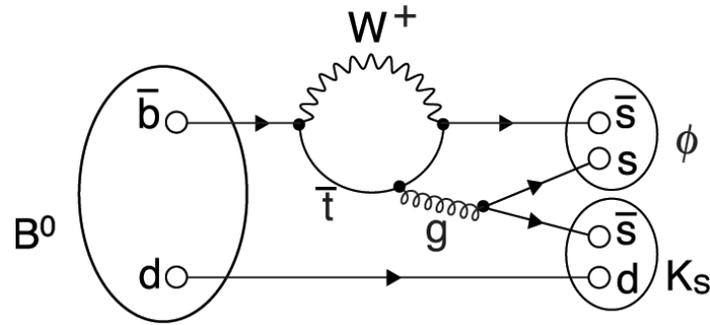


図 12: B 中間子の ϕ 中間子, K_S 中間子への崩壊を引き起こすと考えられているループダイアグラム。(ペンギンダイアグラムとも呼ばれる)

$J/\psi K_S$ と比べて 2 桁小さく、かつグルーオンを含むプロセスからの寄与もあり、 CP 非対称かどうか決定することができなかった。我々は、 535×10^6 個の B 中間子・反 B 中間子ペアから得られた約 1464 個の $B^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ 崩壊を含むペアを用いて CP 非対称パラメータの解析を行い、この崩壊における CP 対称性の破れの観測に成功した。 CP 非対称の一つは、 $B^0 \rightarrow J/\psi K^0$ 同様、崩壊時間の分布が、 B^0 中間子と反 B^0 中間子では違っていることである。もう一つは B^0 中間子と反 B^0 中間子が同数ずつ生成されたにもかかわらず、反 $B^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ の数が $B^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ の数より多いことである。図 15 は崩壊時間分布で、データポイントは崩壊時間ごとに観測された崩壊事象の数である。 B^0 中間子と反 B^0 中間子からの崩壊がそれぞれ $q = -1$ と $q = +1$ で表されている。もし CP 対称性が成り立っているならふたつのカーブは同じになるはずである。ふたつのカーブの形と面積に明らかな違いが見られ、この崩壊で CP 対称性が破れていることを示している。その結果、 CP 非対称パラメータ S と A として、

$$S = -0.61 \pm 0.10(\text{stat.}) \pm 0.04(\text{syst.}),$$

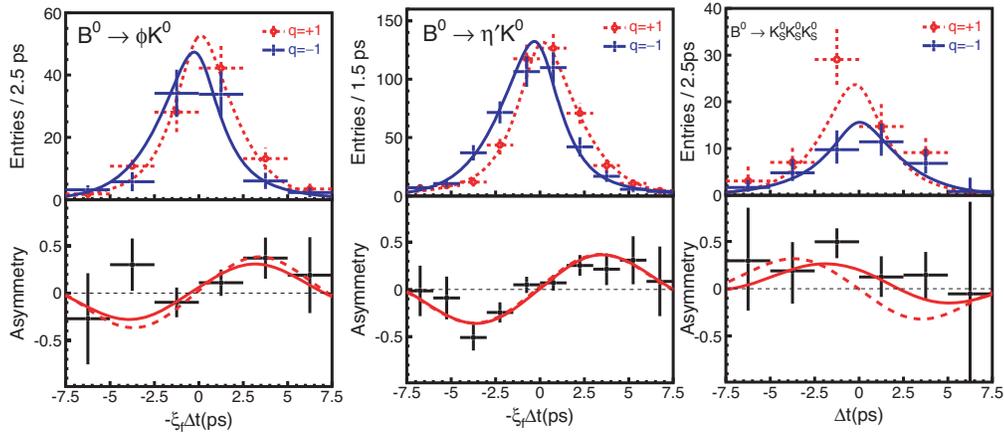


図 13: $B^0 \rightarrow \phi K^0$, $B^0 \rightarrow \eta' K^0$, そして $B^0 \rightarrow K_S^0 K_S^0 K_S^0$ 反応の CP 非対称. 下図の波線は, $B^0 \rightarrow J/\psi K^0$ の非対称度から導かれる標準理論の予想で, それと観測結果との差が新しい物理の存在を示唆する. 横軸は崩壊時間 (ピコ秒).

$$\mathcal{A} = +0.55 \pm 0.08(\text{stat.}) \pm 0.05(\text{syst.}).$$

この結果, $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ における CP 対称性の破れが確定した.

4.2.4 B 中間子の非常に稀な崩壊の測定

超対称性など標準理論を越える新しい物理の出現が期待される $b \rightarrow s \ell^+ \ell^-$ プロセス (ℓ は, ミューオンまたは電子. 図 16 参照) の検出に成功し, その分岐比を $Br(B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-) = (6.1 \pm 1.4_{-1.2}^{+1.4}) \times 10^{-6}$ と決定した. その後, 測定の精度を向上し, 152×10^6 個の B 中間子・反 B 中間子ペアを使って

$$Br(B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-) = (4.11 \pm 0.83_{-0.81}^{+0.85}) \times 10^{-6}$$

の分岐比を得た. 電子とミューオンそれぞれについては,

$$Br(B \rightarrow X_s e^+ e^-) = (4.04 \pm 1.30_{-0.83}^{+0.87}) \times 10^{-6},$$

$$Br(B \rightarrow X_s \mu^+ \mu^-) = (4.13 \pm 1.05_{-0.81}^{+0.85}) \times 10^{-6}$$

を得た. さらに, これまで発見されていなかった $B \rightarrow K^* \ell \ell$ 崩壊モードの発見に成功した. これも世界初である. その分岐比は,

$$Br(B \rightarrow K^* \ell^+ \ell^-) = (11.5_{-2.4}^{+2.6} \pm 0.7 \pm 0.4) \times 10^{-7}.$$

ここで, 最初の誤差は, 統計誤差, 2 番目は系統誤差, 3 番目は分岐比を計算するのに必要な理論計算に起因する誤差である. これらの稀な崩壊モードの測手から, 新しい物理からの寄与に強い制限を与えることに成功した.

$$\sin(2\beta^{\text{eff}}) \equiv \sin(2\phi_1^{\text{eff}})$$

HFAg
ICHEP 2006
PRELIMINARY

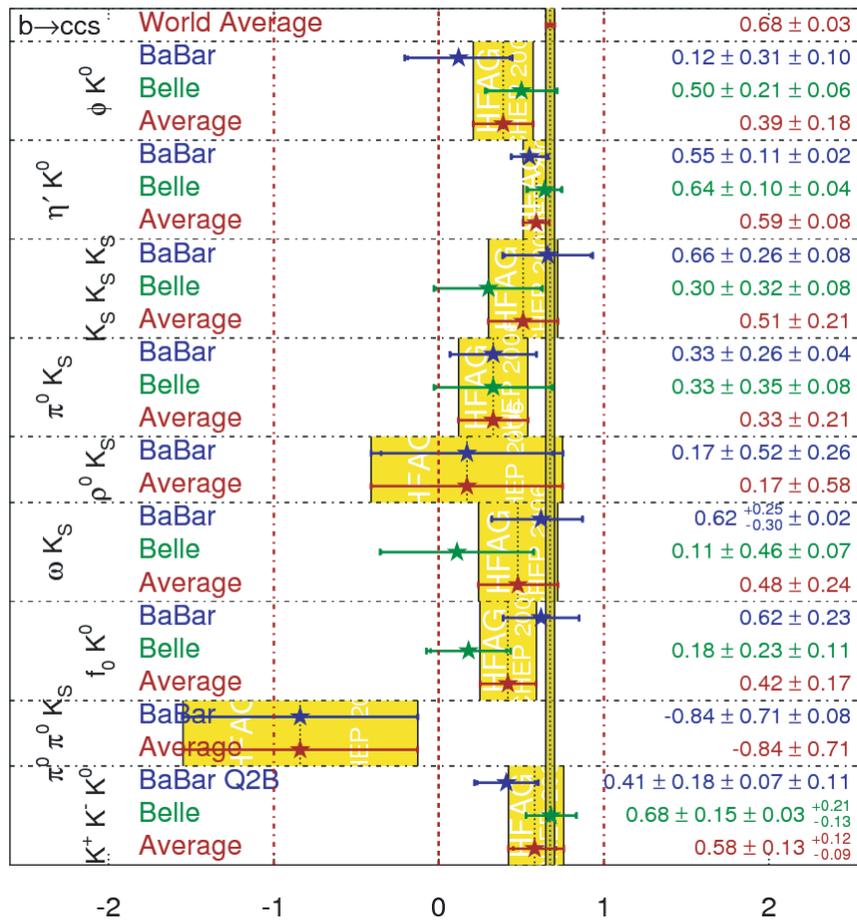


図 14: $b \rightarrow sg$ ペンギンモードの CP 非対称度のまとめ

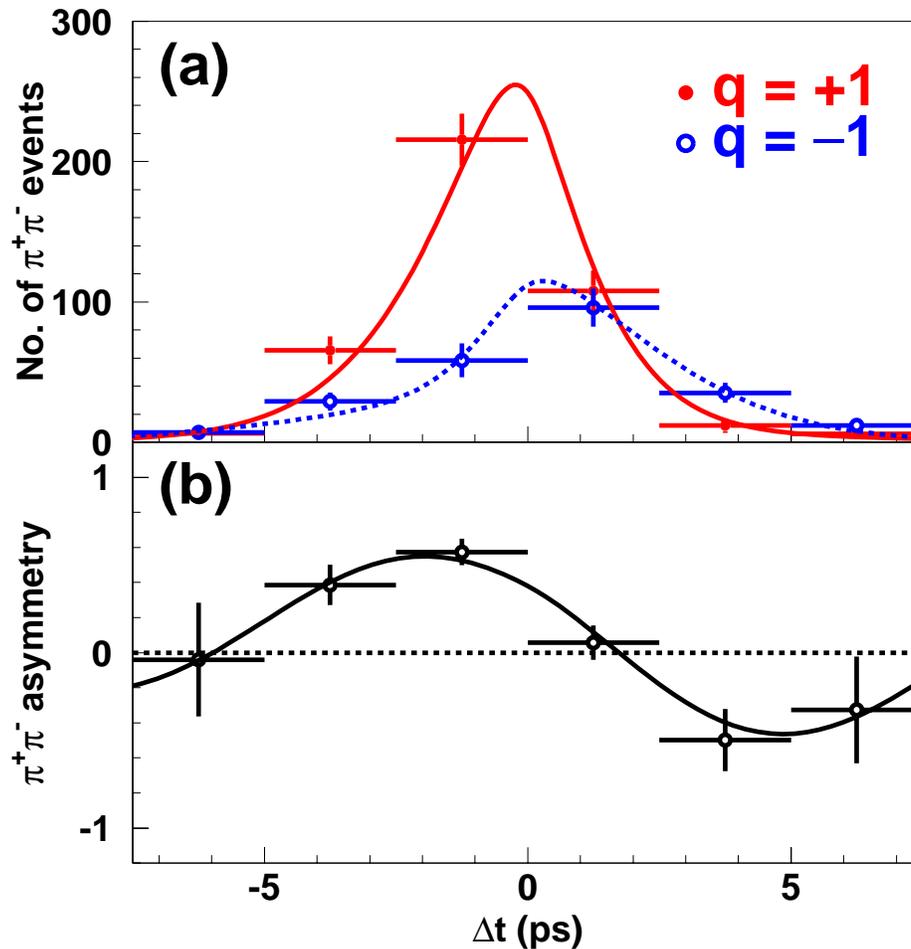


図 15: $B^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ ($q = -1$) と $\bar{B}^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ ($q = +1$) 事象の崩壊時間分布。時間の単位はピコ秒 (10^{-12} 秒)。

4.2.5 公募研究の成果

公募研究「B 中間子崩壊での CP 非保存パラメータ ϕ_2 の測定」では、計画研究と協力して $B^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ の崩壊の他に、 $B^0 \rightarrow \rho\pi$ 崩壊の CP 非対称の時間依存性を解析している。すでに $B^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ の解析から、 ϕ_2 の値が 0 でないこと、直接的 CP の破れの強い証拠がみえること等、重要な結果を発表した。これらのモードの解析には、B 中間子以外のクォーク生成からのバックグラウンドをいかに抑制するかが精度よい測定の鍵を握っている。最近さらに高度なバックグラウンド抑制法を開発し、その有効性を実証している段階である。

公募研究「B メソン事象完全再構成法の研究と新物理探索への適用」B 対生成事象の一方の B メソンの運動学を完全再構成すると、反対側は運動学の定まった「B メソンビーム」として扱え、事象再構成が難しい B 崩壊モードの研究が可能となる。再構成に用いる崩壊過程基礎データの収集と、単純な過程から順次完全再構成事象抽出手順の確立を進めた。約 90×10^6 B 対事象サンプルをもとに、準二体

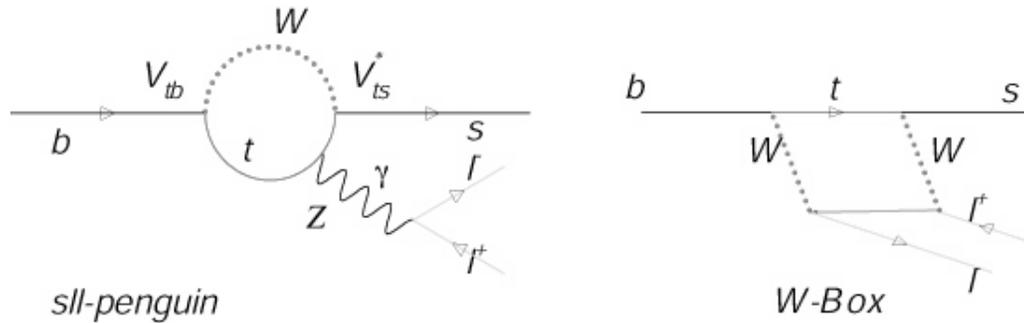


図 16: $b \rightarrow s\ell^+\ell^-$ electroweak penguin process.

$B \rightarrow D^{(*)}(\pi, \rho, a_1)$ 事象, チャーモ ニウム生成過程, DDs 過程から総計 95K 個の完全再構成 B サンプル, 再構成効率 10^{-3} を得た。今年度夏までのデータにより, 170k 個以上の B サンプルが得られる。これらのサンプルは, 抱合レプトン崩壊過程の解析に適応されて, KM 行列要素 $|V_{cb}|$ 及び $|V_{ub}|$ の不定性の少ない測定や, $\tau\nu$ 崩壊測定の試みが行われている。また, 再構成対象となる過程を拡張して収量の向上を図っている。

公募研究「高輝度衝突型加速器実験用エレクトロニクスの開発とパイプライン化に向けた研究」では以下の2つの柱を立て研究を行っている。(1)要素開発の観点から LSI 技術を用いたアナログデジタル混在型高集積回路の開発: 10 種類の基本となる ASIC を製作し動作確認が終了した。実用化へ向けて特性の改善と機能の追加を行なっている。また耐放射線用エレクトロニクスの開発も行なう予定である。(2)システム開発の観点から汎用性の高いデータ収集用ボードの開発: プロトタイプは完成し, 機能, 安定性および性能の確認は終了した。現在更に高速でコンパクトなシステムが構築できるようにボードを改良中で, 今年中に終了予定である。

公募研究「純ヨウ化セシウム結晶への光検出デバイスのマウント方法の開発」では, 力学的強度試験や光学的透明度試験に先立って, 光検出デバイスの窓材料における, 純ヨウ化セシウム結晶が発する波長 320 nm のシンチレーション光の透過率の優劣を定量的に測定する試験を実施した。光陰極の窓が通常のコウ硅酸ガラス製と UV ガラス製の 2 本の光電子増倍管と, 実際の B 中間子の検出に用いられるものと同じサイズの純ヨウ化セシウム結晶およびタリウム添加ヨウ化セシウム結晶の 2 本の結晶シンチレーターを用いて, 3 GeV/c の荷電中間子が貫通する際のエネルギー損失(約 30MeV)による信号の大きさを測り, 純ヨウ化セシウム結晶と組み合わせる場合は UV ガラス窓の方が 30%透過率に優れることを確認した。

公募研究「大強度・高輝度加速器で使用するビームモニターの開発」では大強度・高輝度加速器でのビームモニターに使用する, ダイヤモンド半導体検出器の基礎開発研究を行なった。ダイヤモンド半導

体検出器は大強度陽子加速器 (J-PARC) や高輝度加速器 (KEKB) での使用に耐える放射線耐久性を持った検出器で、今後の実用化が期待されている。本研究では、京都大学・化学研究所・先端ビームナノ科学センターにある 110MeV の線形電子加速器を使って、ダイヤモンド半導体検出器のビームテストを行ない、その基礎特性を測定し評価した。そして (1) 108 電子/パルスという大強度信号に対する高速な時間応答性。(2) シリコン半導体検出器に対して約 25% の電荷量 (3) 500V 付近で 0.1%/V の緩やかな信号の印加電圧依存性 (4) 0.5% 以内の安定性 (約 10 分間の測定) (5) 108 電子/パルスに対し 5% 以内の線形性を測定し、その性能を確認した。本研究において、ダイヤモンド半導体検出器は J-PARC ニュートリノ実験や KEKB 加速器でビームモニターとして使用できる要求を十分に満たすこと確認した。

公募研究「超高帯域光通信路を用いたデータ収集系の研究」では、Belle 実験のアップグレード計画である Super B ファクトリー実験で必要となる現在より数十倍高い帯域でのデータ収集の手法を探るために、光通信路を用いたデータ転送 VME モジュールを試作し、動作検証を行った。このモジュールは Xilinx 社の VirtexII Pro FPGA を用いており、光通信の実現に関して基板上に FPGA と光トランシーバ用のコネクタを用意するだけでよく、非常にコンパクトかつ安価に光通信を実現できる。また、Super B ファクトリー実験でのデータ収集に関する研究会を 2 回開催し、高帯域データ収集の効率的なデータ収集を確立するために手法の検討を行った。

4.2.6 主要論文

- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Measurement of time-dependent CP-violating asymmetries in $B^0 \rightarrow \text{Phi} K^0(S)$, $K^+ K^- K^0(S)$, and $\eta' K^0(S)$ decays,” *Phys. Rev. Lett.* **91**, 261602 (2003) [arXiv:hep-ex/0308035].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of large CP violation and evidence for direct CP violation in $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ decays,” *Phys. Rev. Lett.* **93**, 021601 (2004) [arXiv:hep-ex/0401029].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Study of CP-violating asymmetries in $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ decays,” *Phys. Rev. Lett.* **89**, 071801 (2002) [arXiv:hep-ex/0204002].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Improved evidence for direct CP violation in $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ decays and model-independent constraints on $\text{phi}(2)$,” *Phys. Rev. Lett.* **95**, 101801 (2005) [arXiv:hep-ex/0502035].
- A. Ishikawa *et al.*, “Measurement of forward-backward asymmetry and Wilson coefficients in $B \rightarrow K^* l^+ l^-$,” *Phys. Rev. Lett.* **96**, 251801 (2006) [arXiv:hep-ex/0603018].
- M. Iwasaki *et al.* [Belle Collaboration], “Improved measurement of the electroweak penguin process $B \rightarrow X/s l^+ l^-$,” *Phys. Rev. D* **72**, 092005 (2005) [arXiv:hep-ex/0503044].
- Y. Chao *et al.* [Belle Collaboration], “Evidence for direct CP violation in B^0 to $K^+ \pi^-$ decays,” *Phys. Rev. Lett.* **93**, 191802 (2004) [arXiv:hep-ex/0408100].

主要論文

4.3 A03 タウレプトンの物理

本研究課題の内容を大きく「1. タウの物理」、「2. 粒子識別装置の開発」と公募研究に分離して報告する。

4.3.1 タウの物理

本研究グループでは B ファクトリー実験を遂行し、タウレプトンの反応 ($e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-$) を利用した標準理論の検証並びに新しい物理の探索を研究課題としている。B ファクトリー実験では、2006 年 3 月までに 563 fb^{-1} のデータ (5.02×10^8 事象のタウ粒子対生成に相当) を収集した。このデータを解析し、以下のような研究を進めた。

レプトンの香り保存を破る崩壊の探索

標準理論を越える新しい物理の探索として、レプトンの香り保存を破るタウ崩壊の研究を行なった。理論モデルの種類やパラメータの取り方によって予想される崩壊分岐比が変化し、もっとも起こりやすい事象が変わるため、本研究では、考え得る崩壊モードに対して網羅的に探索を行なった。

レプトンの香り保存を破る崩壊 $\tau \rightarrow \mu\gamma, e\gamma$ の研究を行なった。現在のところ、収集したデータの内約 86 fb^{-1} のデータを解析し、結果を発表した。図 17 は、シグナルの事象数を評価するために用いた $M_{inv}-\Delta E$ 分布である。ここで、 M_{inv} は $\mu\gamma(e\gamma)$ 系の不変質量、 ΔE は $\mu\gamma(e\gamma)$ 系のエネルギーからその期待されるエネルギーを引いた残差である。黒丸によって示された実データは M_{inv} に対してほぼ一様に分布しており、四角で示した期待されるシグナル領域にはピークを作っていない。図の領域に実データは 160(60) 事象であり、そのときのシグナルの検出効率は 11.4%(6.56%) である。

膨大な取得データ量のため統計精度の大幅な向上が可能となった反面、バックグラウンドの寄与が無視できない。この点に注意し、シミュレーションおよび実データを元にバックグラウンドの見積もりを正確に行い、信頼度の高い解析を実現した。その結果、 $\tau \rightarrow \mu\gamma$ 探索の場合、バックグラウンドの成分としてタウ粒子対事象だけでなく光子放射を伴うミュオン粒子対事象が存在することが判明した。これらの見積もりを元にした確率密度関数を用い、最尤度法によって崩壊分岐比の上限値を求め、90%の信頼度で $Br(\tau \rightarrow \mu\gamma) < 3.1 \times 10^{-7}$ という結果が得られた。 $\tau \rightarrow e\gamma$ 探索の場合も、同様にバックグラウンドの見積もりを行い、 τ pair 事象からのものが主に残ってくることが分かった。評価した崩壊分岐比の上限値は、 $Br(\tau \rightarrow e\gamma) < 3.9 \times 10^{-7}$ であった。

過去最大のデータ量による統計精度の向上のみならず、緻密なバックグラウンド成分の見積りによる解析手法により、世界で初めて $O(10^{-7})$ の分岐比に到達する成果が得られた。

$\tau \rightarrow \mu/e\eta/\eta'/\pi^0$ 崩壊の探索

レプトンの香り保存を破る崩壊 $\tau \rightarrow \ell\eta/\eta'/\pi^0$ の研究を行なった。ヒッグス粒子を媒介して香り保存

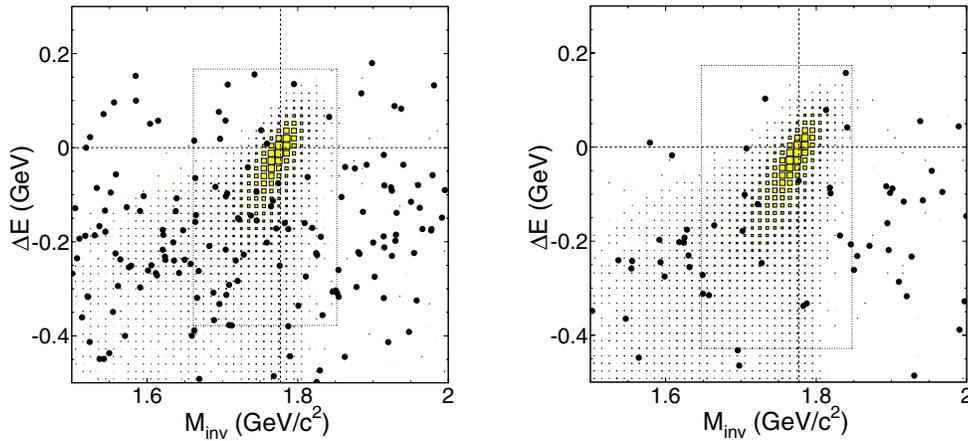


図 17: $M_{inv}-\Delta E$ の 2 次元分布。 $\tau \rightarrow \mu\gamma$ 選別による結果 (左) と $\tau \rightarrow e\gamma$ 選別による結果 (右) を示す。黒丸はデータ, 四角はシグナルのシミュレーションデータの分布を示す。点線四角は 3σ のシグナル領域を示す。

を破る反応を導入した SUSY モデルによると, この過程の崩壊分岐比が 10^{-7} 程度になる可能性が示唆されていることから, $\tau \rightarrow \ell\eta/\eta'/\pi^0$ 崩壊の探索も重要な研究課題の一つである。

解析には 154 fb^{-1} のデータを使用し, η の崩壊過程としては, $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ と $\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ の 2 つについて探索を行なった。 $\tau \rightarrow \ell\eta$ 崩壊の探索に対する, $\ell\eta$ 系の不変質量とエネルギー残差 (ΔE) の 2 次元分布を図 18 に示す。解析の結果, 楕円で示されたシグナル領域の中に検出された事象数はモンテカルロシミュレーションおよび周囲の事象分布から予想されるバックグラウンド事象数と統計誤差の範囲で一致しており, 事象の集中は測定できなかった。 $\tau \rightarrow \mu/e\gamma$ の探索と比較し, シグナル領域の周りにバックグラウンド事象が少ないため, 系統誤差の非常に少ないことが本研究の特徴である。ただし, $\tau \rightarrow \mu\pi^0$ の探索に対しては, $\tau \rightarrow \pi\pi^0\nu$ 崩壊によるバックグラウンド事象が多く, 今後, より多くのデータを解析する場合に事象選別が課題となることが分かった。これら結果から Bayesian 法によって分岐比の上限値を求め, 90%の信頼度で $Br(\tau \rightarrow \mu\eta) < 1.5 \times 10^{-7}$ の値を得た。他の崩壊モードに対しても同程度 ($Br < O(10^{-7})$) の結果を得ている。

前述した理論予想によると, 崩壊分岐比は擬スカラーヒッグス粒子の質量 (m_A) と真空期待値の比 ($\tan \beta = \langle H_u \rangle / \langle H_d \rangle$) を用いて,

$$Br(\tau \rightarrow \mu\eta) = (0.84 \times 10^{-6}) \times \left(\frac{\tan \beta}{60}\right)^6 \left(\frac{100\text{GeV}}{m_A}\right)^4$$

と表される。この関係を用いると, 実験結果から $m_A, \tan \beta$ パラメータに制限が付けられる。図 19 に本実験結果によって排除したパラメータ領域を示す。FNAL 高エネルギー加速器施設で遂行された CDF 実験と同じ感度を達成していることが分かる。

$\tau \rightarrow \ell\ell\ell$ 崩壊の探索

レプトンの香り保存を破る崩壊 $\tau \rightarrow \ell\ell\ell$ の研究も進展した。 87.1fb^{-1} のデータを用いて図 20 に示した 6 つの組合せを探索し, シグナル領域に $\tau \rightarrow eee$ のモードで 1 事象を得た。これは $\gamma\gamma \rightarrow ee$ からのバックグラウンドである可能性が高い。他のモードではシグナル候補は得られなかった。 $\tau^- \rightarrow e^-\mu^+\mu^-$ モードでは, $\Delta E > 0$ の部分に帯状にバックグラウンドが分布しているが, $\gamma\gamma \rightarrow \mu\mu$ からのバックグラウンド

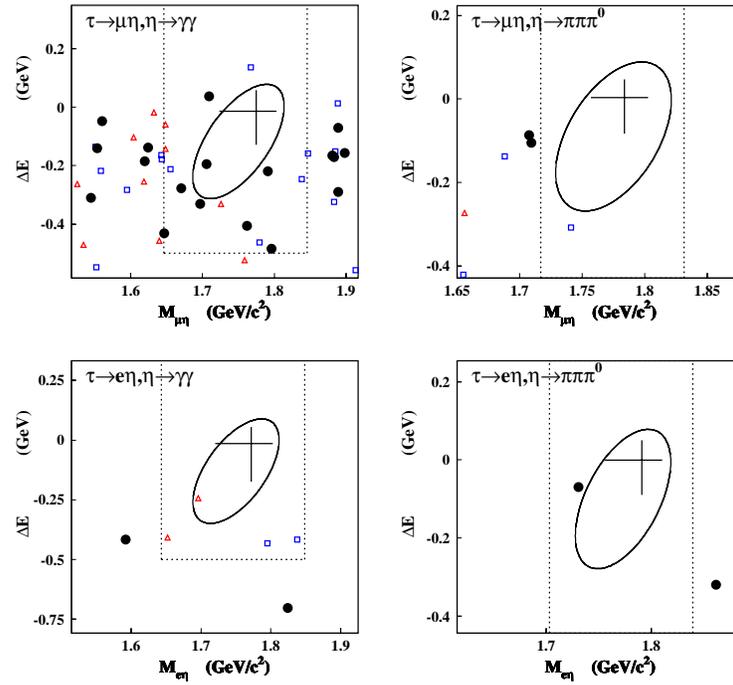


図 18: $M_{\ell\eta}$ - ΔE の 2 次元分布。黒丸がデータ、青四角と赤三角がそれぞれシミュレーションより見積もられたタウ粒子対事象とコンティニューム事象からのバックグラウンドを示す。中心の楕円はシグナル数を評価する時に用いた領域である。

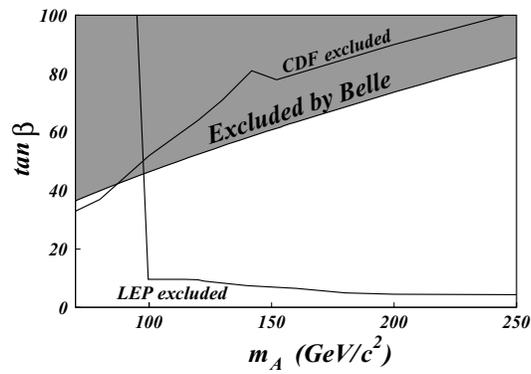


図 19: 実験によって排除された m_A - $\tan \beta$ のパラメータ領域。色付部分が本研究によって排除された領域である。

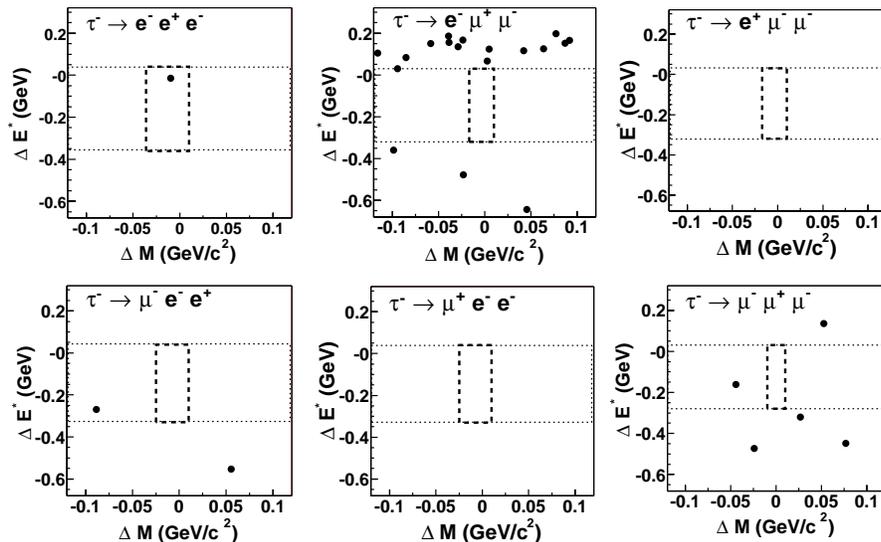


図 20: ΔM - ΔE の 2 次元分布。黒丸はデータ, 中央の点線四角は信号事象の評価に用いた領域を示す。

であると結論した。研究成果として, これらの過程の崩壊分岐比の上限値を $Br < (1.1 \sim 3.5) \times 10^{-7}$ と得た。

$\tau \rightarrow lhh$ 崩壊, $\tau \rightarrow lV^0$ 崩壊の探索

$\tau \rightarrow lll$ 解析を発展させ, 粒子識別などを変更して $\tau \rightarrow lhh, \tau \rightarrow lV^0$ の探索も行なった。ここで, h, V^0 は, 荷電メソン, 中性ベクターメソンを表し, 中性ベクターメソンが 2 つの荷電メソンに崩壊する過程を解析した。158fb⁻¹ のデータを用いた探索結果を図 2122 に示す。 $\tau \rightarrow lll$ と比較して, シグナル側にメソンを要求するため, $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$ 過程からのバックグラウンドが多く残っており, 数個の事象がシグナル領域に入り込んでいる。解析結果として, $Br(\tau \rightarrow lhh) < (1.6 \sim 8.0) \times 10^{-7}$ および $Br(\tau \rightarrow lV^0) < (2.0 \sim 7.7) \times 10^{-7}$ の崩壊分岐比の上限値を得た。

$\tau \rightarrow lK_s$ 崩壊の探索

$\tau \rightarrow lK_s$ 崩壊の探索を 281fb⁻¹ のデータを用いて行なった。図 23 に探索結果を示す。楕円で示された信号領域に事象は検出できなかった。崩壊分岐比の上限値として, $Br(\tau \rightarrow \mu K_s) < 0.52 \times 10^{-7}$ および $Br(\tau \rightarrow e K_s) < 0.60 \times 10^{-7}$ を得た。この結果は, タウのレプトンの香り保存を破る崩壊の探索の中で, もっとも感度の高い結果を得ている。 K_s を再構成することができるため, 効率的な選別を実現することができ, 14%, 12% と高い選別効率を保ちつつ, 図に示したようにバックグラウンド事象を少なく抑えることができたことが特徴である。

$\tau \rightarrow \Lambda\pi$ 崩壊の探索

$\tau \rightarrow \Lambda\pi$ 崩壊の探索も行なった。このモードは, レプトンの香りを破るだけでなく, バリオン数も保存しない反応である。154fb⁻¹ のデータを用い, 図 24 の解析結果を得た。崩壊分岐比の上限値として, $Br(\tau^- \rightarrow \bar{\Lambda}\pi^-) < 1.4 \times 10^{-7}$ および $Br(\tau^- \rightarrow \Lambda\pi^-) < 0.72 \times 10^{-7}$ と結論した。この崩壊モードに対しては, 本研究が世界で始めて結果を出した。

探索のまとめ

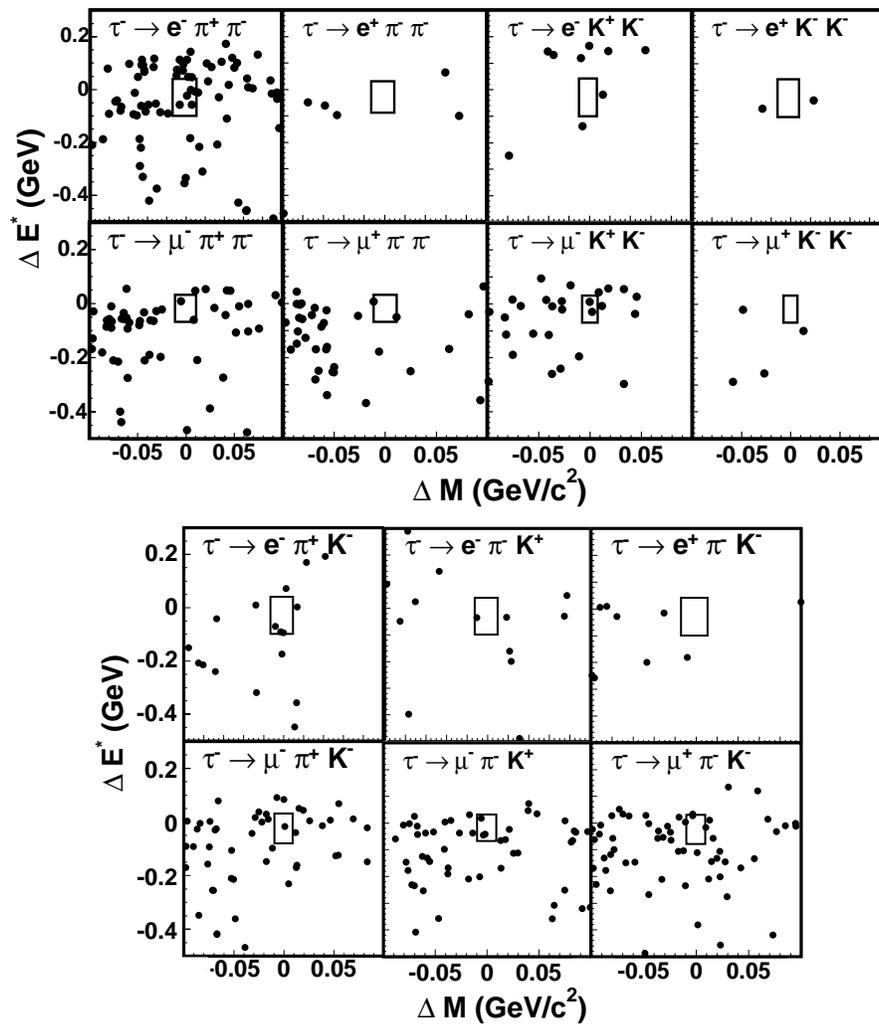


図 21: ΔM - ΔE の 2 次元分布。黒丸はデータ, 中央の四角は信号事象の評価に用いた領域を示す。

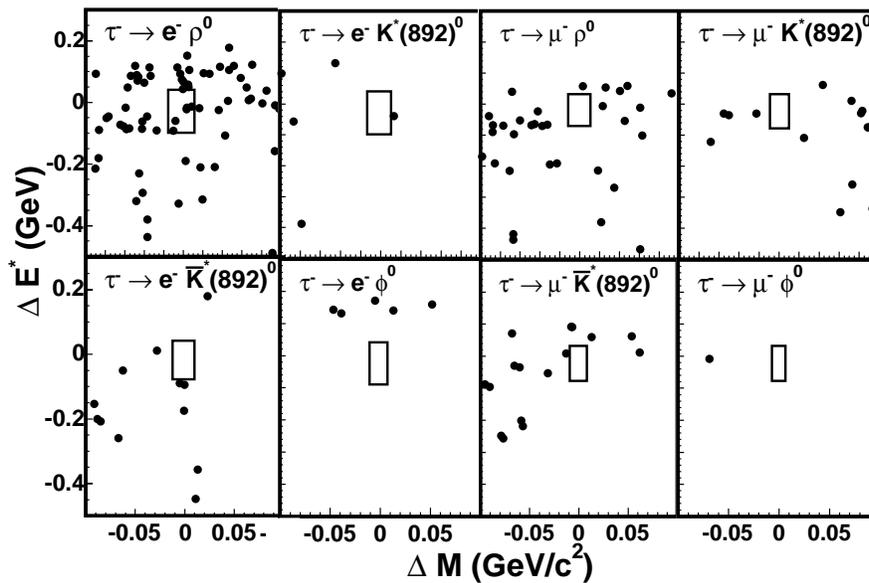


図 22: ΔM - ΔE の 2 次元分布。黒丸はデータ, 中央の四角は信号事象の評価に用いた領域を示す。

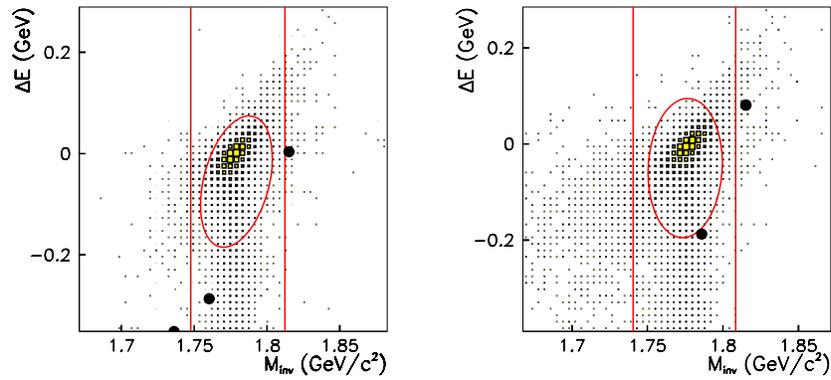


図 23: $M_{inv}-\Delta E$ の 2 次元分布。黒丸はデータ, 黄色四角はシグナルのシミュレーションデータを示す。縦線で挟まれた部分は, 解析によって偏りを生み出さないようにデータを隠した領域である。中央の楕円は 3σ のシグナル領域を示す。

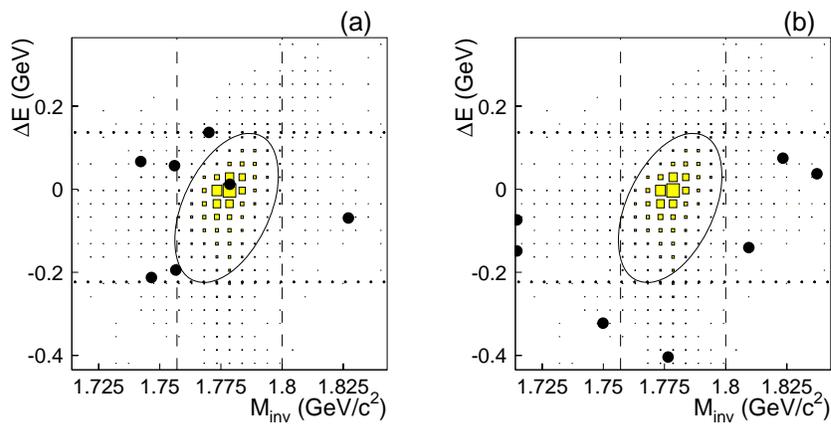


図 24: $M_{inv}-\Delta E$ の 2 次元分布。黒丸はデータ, 四角はシグナルのシミュレーションデータを示す。点線で囲まれた部分は, 解析によって偏りを生み出さないようにデータを隠した領域である。中央の楕円はシグナル領域を示す。

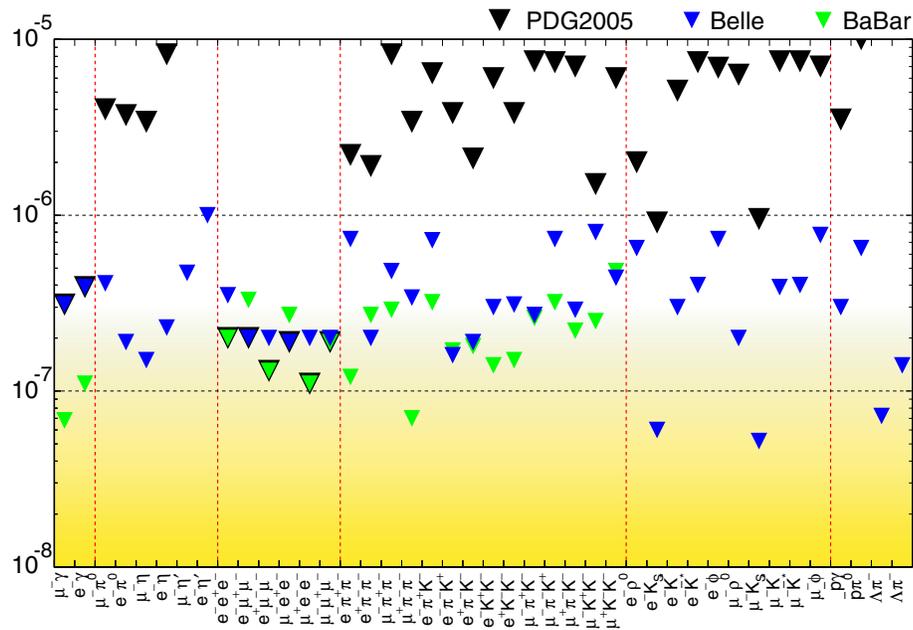


図 25: 各探索モードに対する崩壊分岐比の上限值。青マークが本研究によって得られた成果, 黒マークが過去の実験による結果, 緑マークが BaBar 実験の結果を示す。

図 25 に, 本研究によって到達した各モードに対する崩壊分岐比の上限值を示す。競合相手である BaBar 実験と比較すると, 探索においてほぼ同程度のデータ量を用いているため, ほぼ同じ上限値の到達点となっている。本研究の成果として, タウの崩壊で考えられるほぼすべてのモードに対して探索を行ない, 効率的なバックグラウンドの抑制に成功するなど解析によって感度を高めることにより, 過去の実験と比べ 1 桁以上探索領域を深めることができ, 世界で始めて $O(10^{-8})$ の実験感度を得た。

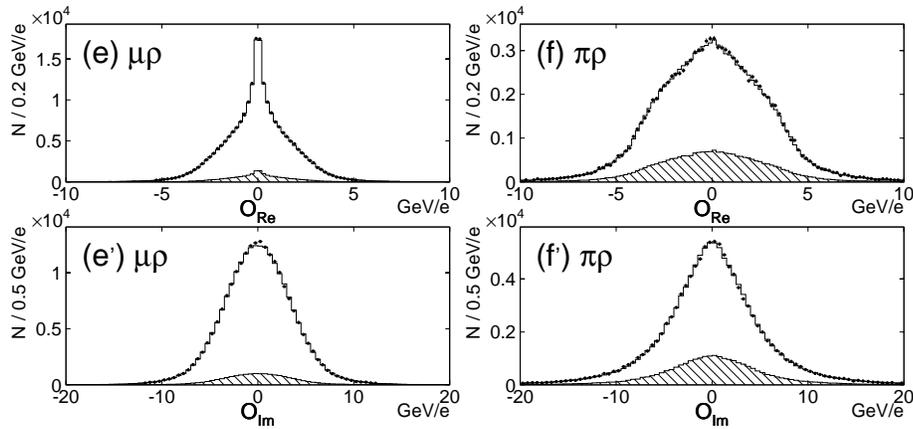


図 26: 最適観測量 (O_{Re} : 上側, O_{Im} : 下側) の分布。右側は $\mu\rho$, 左側は $\pi\rho$ のモードに対する結果を示す。黒丸がデータ, ヒストグラムは $d_\tau = 0$ のシミュレーションによる期待値, 斜線部分はそのバックグラウンド成分を示す。

T/CP 対称性の破れの探索

新しい物理の探索の別の方法として, タウ粒子対生成事象における T/CP 対称性の破れの探索を行なった。T 対称性・CP 対称性は, それぞれ時間反転・粒子反粒子反転での物理法則の不変性を表す。この探索に対する物理量として, 本研究ではタウレプトンの電気双極子モーメント (d_τ) を採用し, その精密測定を行なった。SUSY, leptoquark, multi-Higgs doublet といったモデルでは大きな CP 対称性の破れが存在する可能性が示唆されている。

本研究では, $e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-$ 反応での 2 つのタウレプトンの崩壊の型から, 統計的感度が最も良くなるように構成された最適観測量 (optimal observable) を計算し, その平均値から d_τ を抽出する。解析手法として, 測定したすべての情報を用い最大限の感度を有する最適観測量を構成し使用したことが本研究の特徴である。解析では, $\tau\tau \rightarrow e\mu 4\nu, e\pi 3\nu, \mu\pi 3\nu, \pi\pi 2\nu, e\rho 3\nu, \mu\rho 3\nu, \pi\rho 2\nu, \rho\rho 2\nu$ の 8 つのモードを測定した。タウレプトンの崩壊過程の 45%を集めることで統計量を上げるとともに, それぞれのモードを比較することで実験の系統的評価を行ない信頼度の向上を計った。図 26 に, 29.5 fb^{-1} のデータの解析により得られた最適観測量の分布を示す。 $O_{\text{Re}}, O_{\text{Im}}$ は, それぞれ d_τ の実部, 虚部を測定するために構成された最適観測量である。 d_τ の実部は CP-odd, T-odd, 虚部は CP-odd, T-even の性質を持つ。分布は実データと $d_\tau = 0$ のシミュレーション結果が非常に良く一致していることを表しており, 本解析が実験を良く理解できていることを示す。

図 27 に測定結果を示す。8 つすべてのモードに対して $d_\tau = 0$ と矛盾無いという結論を得た。全体としては $Re(d_\tau) = (1.15 \pm 1.70) \times 10^{-17} \text{ ecm}$, $Im(d_\tau) = (-0.83 \pm 0.86) \times 10^{-17} \text{ ecm}$ を得た。この結果から 95% の信頼度で電気双極子モーメントの上限値を求めると, $Re(d_\tau) < 4.0 \times 10^{-17} \text{ ecm}$, $Im(d_\tau) < 2.0 \times 10^{-17} \text{ ecm}$ となる。図 27(右) に示したように, 従来の実験と比較して 10 倍以上の測定感度を達成し, 10^{-17} ecm のレベルにおいても T/CP 対称性が保存されている事を検証した。

タウ粒子の 2π モードへの崩壊 ($\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^0 \nu_\tau$) の精密測定から, $\pi^- \pi^0$ 系の質量スペクトラルを決定する研究を進めた。この研究結果は, ミュー粒子の異常磁気能率 $a_\mu \equiv \frac{(g-2)_\mu}{2}$ の測定に対する理論計算の部分に大変重要なデータを提出する。すでに本研究では, 非常に精密な補正や系統誤差の評価により, 従

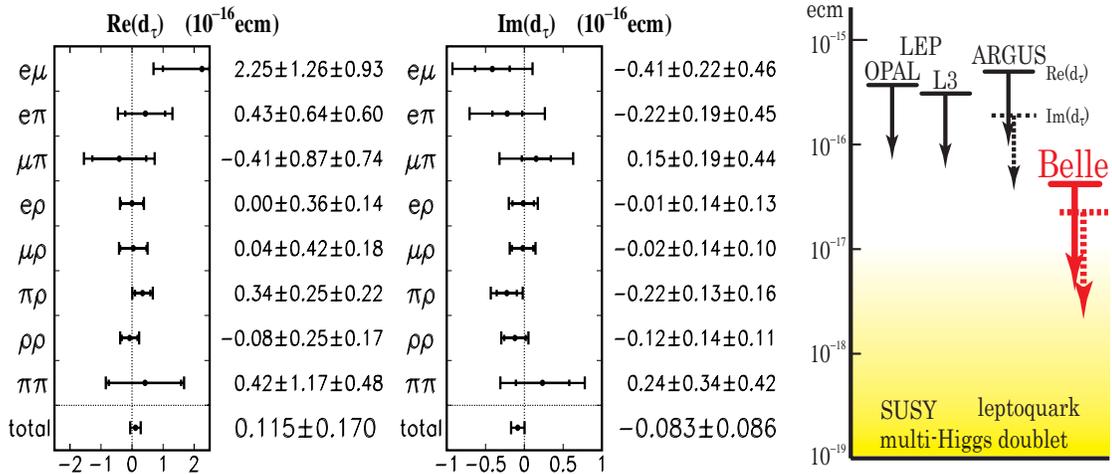


図 27: $Re(d_\tau)$, $Im(d_\tau)$ の測定結果 (左) と過去の実験 (OPAL, L3, ARGUS) との比較 (右)。測定結果 (左) の数字の単位は 10^{-16}ecm であり、誤差の 1 番目は統計誤差, 2 番目は系統誤差である。

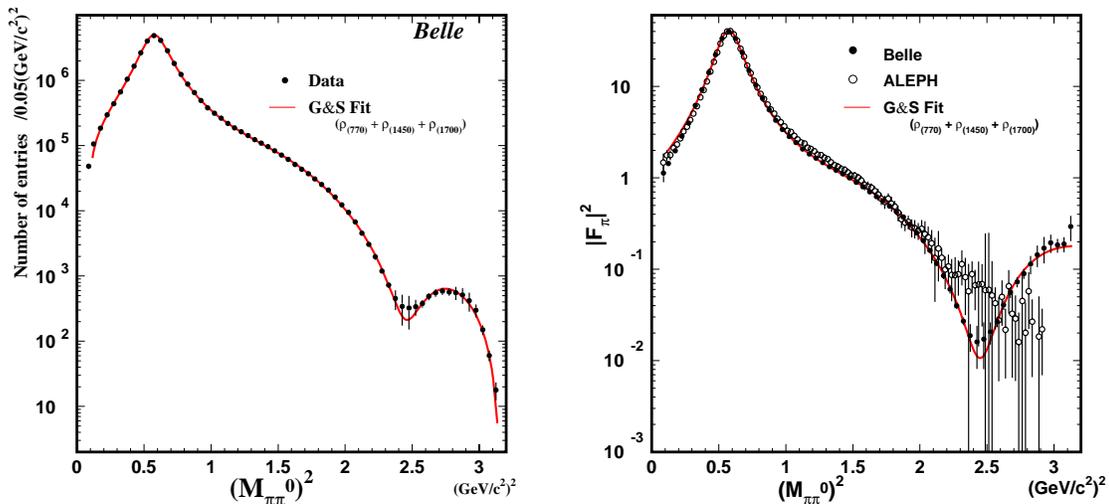


図 28: 左図; すべての補正を施した後の $\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^0 \nu_\tau$ 崩壊における $\pi^- \pi^0$ 系の質量 2 乗 ($M_{\pi\pi^0}^2$) 分布。右図; $M_{\pi\pi^0}^2$ 分布から決定したパイオン構造因子 $|F_\pi(s)|^2$ 。黒丸が今回の Belle 実験の結果。比較のために ALEPH 実験の結果を白丸で示した。両方の図に示した赤い実線は、 $\rho(770)$, $\rho'(1450)$ と $\rho''(1700)$ 共鳴によるフィットの結果である。これら 3 つの共鳴のみでデータが非常によく再現できることが分かる。

来の測定を越える精度の良いスペクトルを得ている。図 28 はすべての補正を施した後の $\pi^- \pi^0$ 系の質量スペクトラルとパイオン構造因子である。大きな $\rho(779)$ 共鳴のピークと $\rho'(1450)$ 共鳴による既知の肩状の構造が明白にみえる。また、 $M_{\pi\pi^0}^2 \sim 2.8 \text{GeV}^2$ あたりに見えるバンプは $\rho''(1700)$ 共鳴からの寄与で、本実験の圧倒的な統計量によりその構造が明確になった。

ミュオン粒子の異常磁気能率 $a_\mu \equiv \frac{(g-2)_\mu}{2}$ の理論計算では、ハドロン真空偏極項と呼ばれる項の見積もりが非常に重要である。この項は純粋理論による精度のよい計算は出来ないため、 e^+e^- 衝突によるハドロン生成反応断面積やタウ粒子のハドロン崩壊の実験データを用いた評価がもっとも信頼性が高い方法である。ハドロン真空偏極項の中では、 2π 系からの寄与 $a_\mu^{\pi\pi}$ がもっとも大きいので、中でもその評価が大変重要である。今回測定した質量スペクトラルを用いて決定した $a_\mu^{\pi\pi}$ の値は、

$$a_\mu^{\pi\pi}[0.50, 1.80] = (462.6 \pm 0.6 (\text{stat.}) \pm 3.2 (\text{sys.}) \pm 2.3 (\text{isospin})) \times 10^{-10} \quad (\tau : \text{Belle})$$

である。積分領域は他の実験との比較のため $(0.50 - 1.8) \text{ GeV}^2$ とした。この結果は、ALEPH 実験、CLEO 実験で得られたタウのデータを用いた結果

$$a_{\mu}^{\pi\pi}[0.50, 1.80] = (464.0 \pm 3.0 (\text{exp.}) \pm 2.3 (\text{isospin})) \times 10^{-10} \quad (\tau : \text{ALEPH, CLEO})$$

と非常に良くあっている。一方、 e^+e^- のデータにもとづく結果

$$a_{\mu}^{\pi\pi}[0.50, 1.80] = (448.3 \pm 4.1 (\text{exp.}) \pm 1.6 (\text{rad.})) \times 10^{-10} \quad (e^+e^- : \text{CMD2, KLOE})$$

とは依然異なっている。我々の結果は、タウ崩壊の $\pi^-\pi^0$ 系と e^+e^- の $\pi^+\pi^-$ 系には、既知のアイソスピン保存の破れの効果を考慮しても、優位な差があることを再確認した重要な意義を持っている。

参考のため、最新の a_{μ} の実験値と理論値を比較した状況を図 29 に示す。 e^+e^- のデータをもとに計算したでは、実験値と標準理論との間に 2.7σ のずれがあり、このずれと超対称性粒子とを関連づけた多くの議論がされている。一方、タウのデータを使うと、 a_{μ} の実験と理論の差が 1σ 程度となる。タウと e^+e^- で見られるこの差の原因の理解は今後に残された重要な課題である。

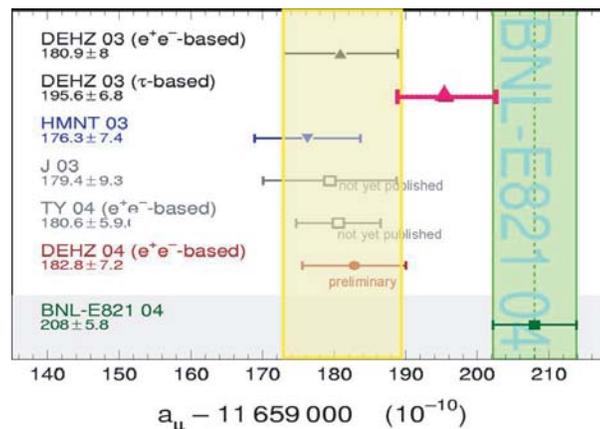


図 29: BNL の最新の a_{μ} の実験結果と標準理論にもとづく計算結果との比較 (M. Davier, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 144 (2005) 250 より)。

4.3.2 粒子識別装置の開発

本研究グループでは、Bファクトリー実験の次期計画 (Super B factory) のための次世代型粒子識別装置 (TOP カウンター) の開発研究を行なっている。以下に、装置本体とその性能を引き出すために重要な部品である光電子増倍管の開発状況について述べる。

TOP カウンター

TOP カウンターはチェレンコフ光を利用した粒子識別装置である。輻射体である石英をその光速度より速い荷電粒子が通過した際に発生するチェレンコフ光を輻射体の端面に取り付けた光検出器 (分解能 40ps 程度) で検出する。検出した光の到達位置と時間からチェレンコフ光の発生角度を再構成し、それを元に粒子を識別する。光の到達時間を利用することがこの装置の特徴である。図 30 に装置全体の写真

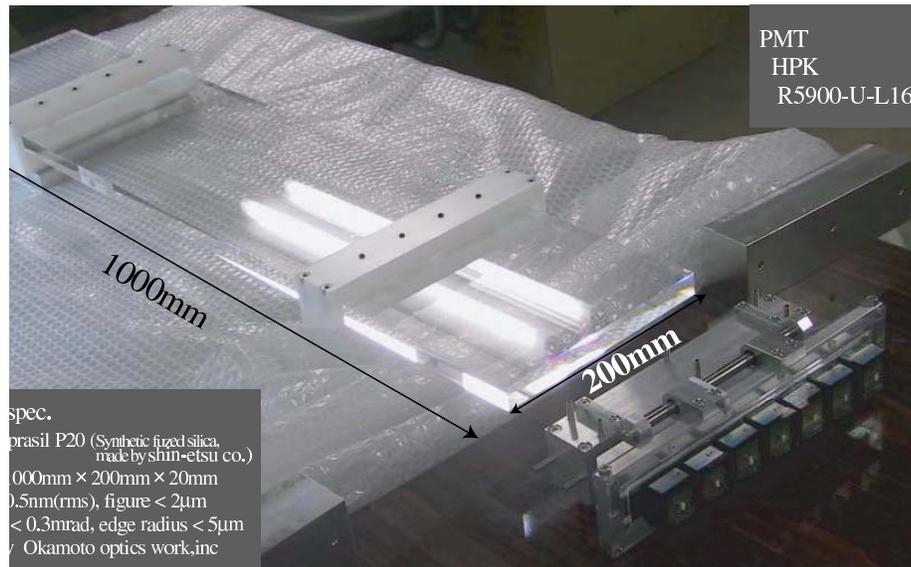


図 30: TOP カウンター試作器。斜めに蛍光灯の光が反射している部分が石英部分, 右下が光検出器 (16 チャンネル読み出しの光電子増倍管) である。

を示す。開発初期は光検出器側に集光用ミラーを取り付けて動作原理の確認を行なった。現在は写真のような輻射体の端面に直接光検出器を取り付けた装置の開発を行っている。ミラーを取り外すことで装置の簡略化と省スペース化が可能となった。

TOP カウンターでは光の伝播時間を精密に測定することが非常に重要である。数回の KEK-PS でのビームテストの結果、輻射体の表面精度が時間分解能に対して大きく寄与することが分かった。測定結果を図 31 に示す。輻射体を高精度研磨したものに変更することで、伝播距離 2.3m のとき時間分解能を 170 ~ 320ps 向上させることに成功した。また、時間分解能に対するもう一つの寄与として輻射体における光速の波長依存性が大きいことも確認した。これに対し、検出するチェレンコフ光を長波長側にずらすことで改善できることをシミュレーションで確かめた。現在、浜松ホトニクス社と協力し、従来のマルチアルカリ光電面より長波長の光子の感度が高い GaAsP 光電面の光検出器を開発している。

さらに、光速の波長依存性による時間分解能の悪化を抑えるために、形状の考案、最適化を行ってきた。図 32 に、改良型 TOP カウンターの形状を示す。まず、測定器全体が前後方に対して非対称であるため、チェレンコフ光の伝播距離の長くなっている前方を分割し、中間に光検出器を配置することで、距離を短くし時間分解能の悪化を抑えることを考案した。TOP カウンターの粒子識別性能は原理的には伝播距離を伸ばすことで向上できるため、性能を最大限引き出す、伝播距離の最適値が存在する。そこで、シミュレーションを用いて、形状の調査を行い最適値を得た。次に、波長依存性を直接利用して識別性能を向上させる形状として、フォーカス型を考案した。3 受光面型の中間の光検出器の部分に球面状のフォーカスミラーを取り付け、前方に放出されたチェレンコフ光を後方の受光面で焦点を結ぶよう

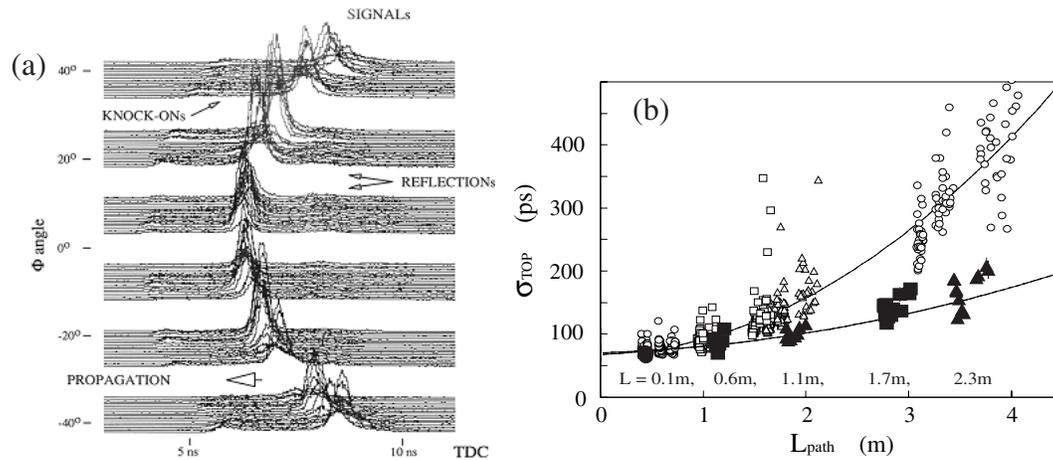


図 31: 測定されたリングイメージ (a) と時間分解能の伝播距離依存性 (b)。 (b) の白抜ききのマークは従来の輻射体、黒のマークは新しく高精度研磨した輻射体の測定結果を示す。

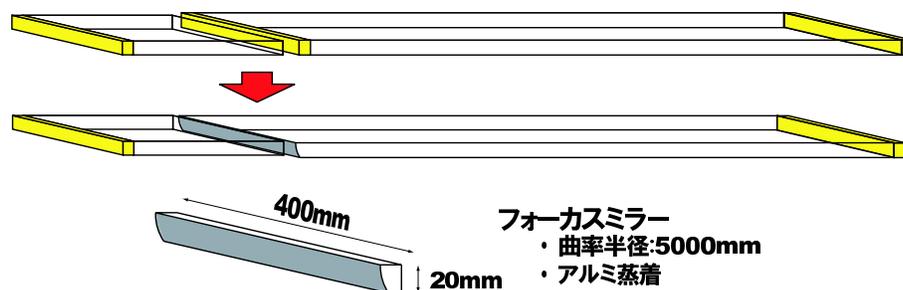


図 32: 改良型 TOP カウンターの形状。上が 3 受光面型, 下がフォーカス型のものであり, 左側を Belle 検出器の前方に向け, パレル部分に円筒状に配置する。黄色の部分に光検出器を配置する箇所である。

に反射させる。後方の受光面では, 光検出器を回転させ, 縦 5mm 横 20mm の 2 次元チャンネルで読み出す。チェレンコフ光は輻射時の発生角度と波長に依存性を持つ特徴があり, 光を検出した位置から発生角度, さらに波長の情報を得ることができる。シミュレーションによって, ミラー位置や曲率半径などの形状を最適化した。図 33 にフォーカス型 TOP カウンターによって得られる π/K 粒子の分離能力を示す。これらの新しい形状の考案・最適化によって 2σ 程度の性能向上を果たし, $4\text{GeV}/c$ の荷電粒子に対して, 4σ 以上の π/K 分離能力を達成することができた。

光電子増倍管

粒子識別能力を十分に発揮させるためには, 光の到達時間を精度良く測定できる光電子増倍管の開発が重要である。前節で挙げた光電面の改良だけでなく, B ファクトリー実験の次期計画を想定した「磁場 (1.5T) 中で単一光子に対して 50ps 程度の時間分解能で測定できる検出器」の開発研究を行ってきた。今までは高い時間分解能が得られる検出器として, 小型の光電子増倍管 (ラインフォーカス型, ファインメッシュ型) を開発してきた。その中で, 可能性のある検出器の一つとしてマイクロチャンネルプレートを用いた光電子増倍管 (MCP-PMT) の研究を行ってきた。図 34 に研究開発に用いている MCP-PMT の写真を示す。

動作特性を調べるため, 数種類の PMT を高磁場中で動作させ, レーザーを用いて信号感度や時間分解能を測定した。測定には浜松ホトニクス社所有の高磁場発生装置や KEK-PS に設置してある“牛若”を

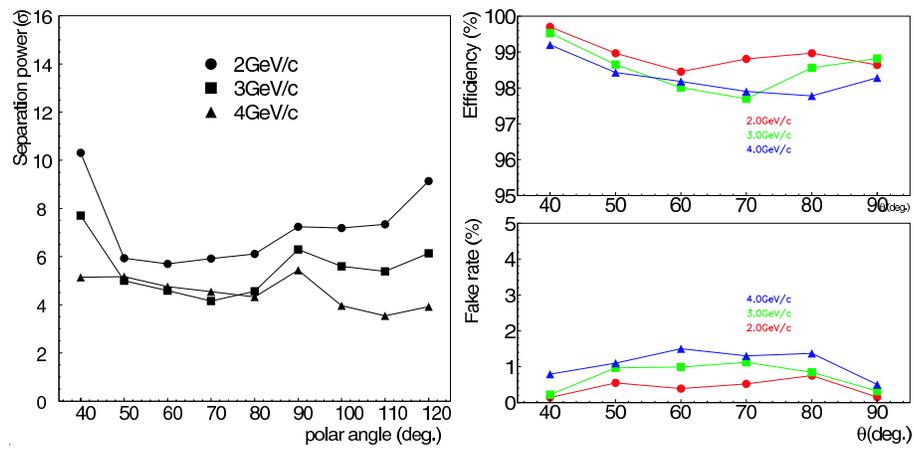


図 33: フォーカス型 TOP カウンターのシミュレーションで評価した性能。左図は、荷電粒子のビーム軸に対する角度と分離能力の関係を示す。右上図は、 K^\pm 選別をした場合の選別効率と角度の関係、右下図は、 π^\pm を K^\pm 粒子と誤認識する確率と角度の関係を示す。



図 34: 浜松ホトニクス社製の丸形光電子増倍管 (HPK R3809-U-50-11X)(左) と共同開発中の角形 4 チャンネルアノード MCP-PMT (右)。

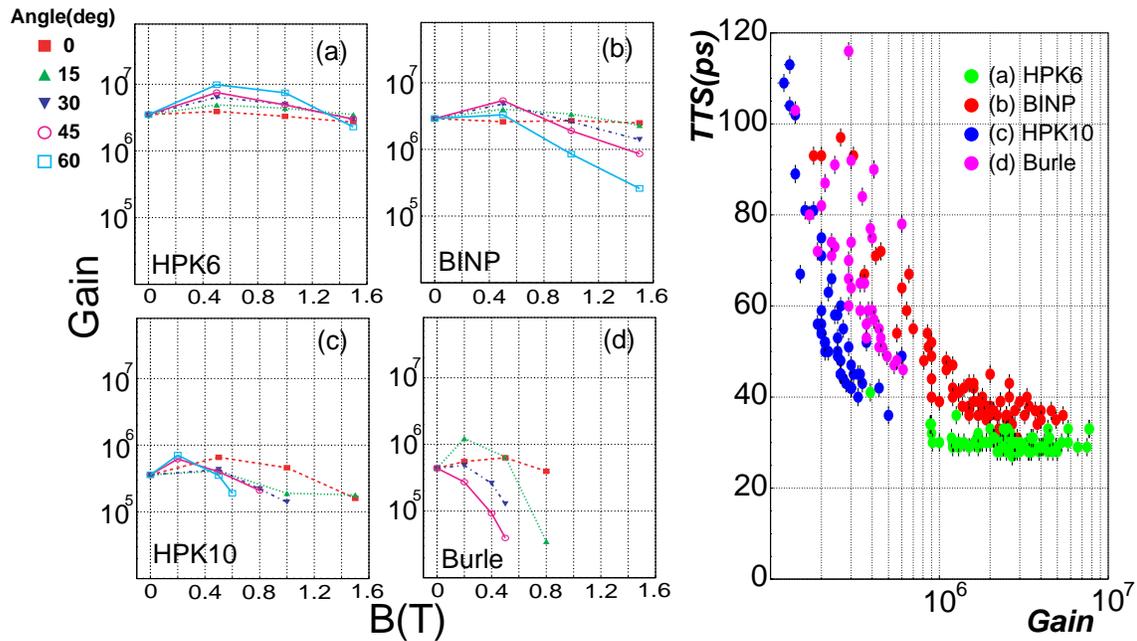


図 35: 磁場に対する増幅率の変化 (左) と時間分解能の増幅率依存性 (右)。(a) 浜松ホトニクス社製 R3809-U-50-11X(MCP 孔径 $6\mu\text{m}$), (b)BINP 研究所製 N4428(MCP 孔径 $10\mu\text{m}$), (c) 浜松ホトニクス社製 R3809-U-50-25X(MCP 孔径 $10\mu\text{m}$), (d)Burle 社製 85011-501(MCP 孔径 $25\mu\text{m}$)。磁場に対する管軸の角度を変化させ、磁場の強度と増幅率、時間分解能の相関を測定した。

使用した。図 35 に測定結果 (磁場に対する増幅率の変化と時間分解能の増幅率依存性) を示す。使用した MCP-PMT はそれぞれ内部構造が違うが、この結果から大きな特徴として MCP の孔径と 2 枚の MCP の間隔が磁場強度と増幅率の相関に大きく関連することが分かった。孔径が小さいほど磁場に対して耐性が高い傾向がある。また、時間分解能 50ps 程度を達成するには、増幅率が 10^6 程度必要であることも分かった。

製品化されている丸形 MCP-PMT を用いて、シングルチャンネルでの MCP-PMT の有効性が確認できた。それを元に、TOP カウンターに利用可能な形状の MCP-PMT を浜松ホトニクスと共同開発している。受光面の有効面積比を上げるため、 $22 \times 22\text{mm}$ の角形とし、その中に 5mm 間隔でアノードチャンネルを取り付けることとした。1 つのパッケージに多数のアノードを設置することで、チャンネル間の信号のクロストークが大きく時間分解能に影響を与えるという問題点が分かった。この影響を低減するために、MCP-PMT の内部電極の構造を改良することとした。クロストークの低減に成功した構造を、図 36(左) に示す。アノードと向かい合う共通の MCP 出力側電極板を通して、信号が伝わるのが最大の原因であることを理論計算によって突きとめた。電極を分割し、高電圧を印可する外部回路も独立させた MCP-PMT を製作し、図 36(右) のような測定結果を得た。Ch2 に光を入れた場合の各チャンネルの出力波形を示す。クロストーク対策前の MCP-PMT では、Ch2 の波高に対する他のチャンネルの波高の比 (S/N) が 3 ~ 5 であったのに対し、改良したものの S/N は 8 ~ 14 と 3 倍の改善を得られ、誘起された信号の伝播を抑えることに成功した。この対策により、単一光子の検出を各チャンネルで独立にできるようになり、時間分解能に対しても、Constant Fraction タイプの Discriminator を使うことで最大でも 50ps 以下の分解能が得られるようになった。

TOP カウンターの実用化に対する試験として、MCP-PMT の寿命測定を行なった。世界最高輝度実

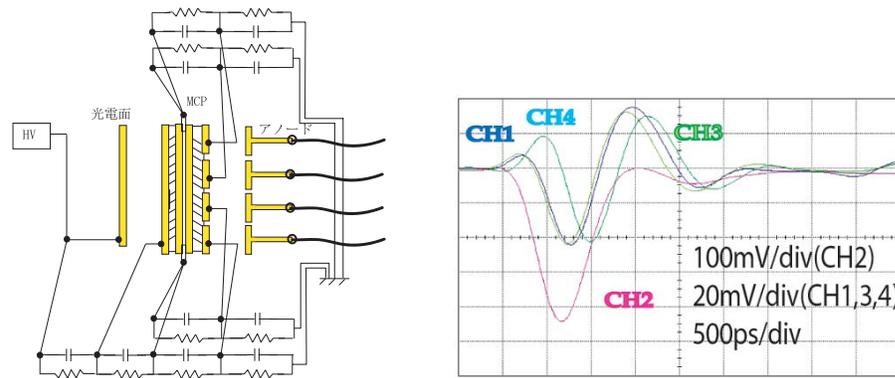


図 36: クロストーク対策型 MCP-PMT の電極構造 (左) と、その出力波形 (右)。出力波形は、Ch2 のみに 10 光子程度のレーザーパルスを入射した場合のものである。

験となる Super B factory 計画では、物理事象だけでなくバックグラウンド事象も大量に生成され、TOP カウンターには高頻度の荷電粒子が入射すると考えられる。光検出器に入射する高頻度のチェレンコフ光子によって、特に光電面の量子効率の悪化が懸念される。MCP-PMT の寿命を評価するために、浜松ホトニクス社 (HPK) 製とロシア BINP 研究所開発の丸形 PMT を購入し実験を行った。量子効率の悪化の原因は、PMT 内の増幅電子衝突によって MCP 表面より放出されるイオンが光電面にダメージを与えることである。そのイオンフィードバックを防止するために初段の MCP 表面に付けられる、アルミ膜があるタイプと無いタイプを同時に測定し、その効果も調査した。アルミ膜がある場合、光電子の検出効率が 60%程度に低下するため、寿命が十分であればアルミ膜が無いタイプが良い。

図 37 に、入射光子数に対する QE の値の相対的な変化を示す。図下に、対応する Super B factory で稼働時間を示す。入射光子数と稼働時間の対応は、想定されるビーム強度におけるバックグラウンド粒子発生シミュレーションを行った結果である。HPK 製、ロシア製ともアルミ膜がないものは、1 年以内に QE が 30%程度にまで落ちている。また、ロシア製のものではアルミ膜があっても 1 年程度しか実用に耐えないことが分かった。HPK 製アルミ膜ありの MCP-PMT では、14 年程度に対応する入射光子数に対しても初期状態の 90%程度の悪化にとどまっており、充分実用に耐えられる。この研究から、イオンフィードバックを防止する目的で導入したアルミ膜が有効に働いており、TOP カウンターの実用化のためには必要であることが分かった。

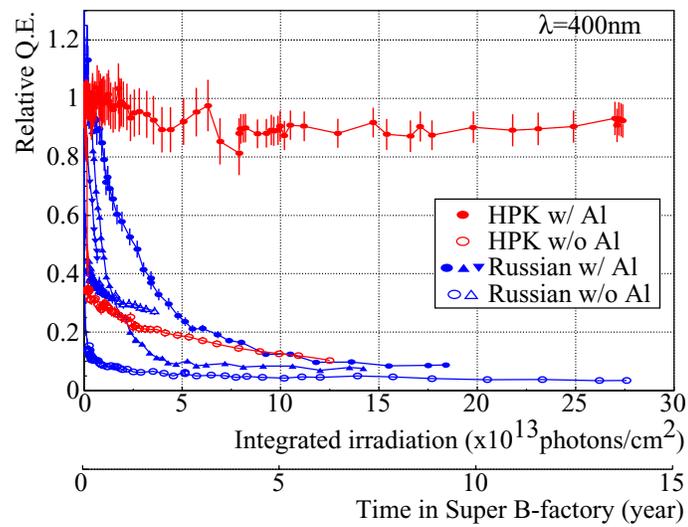


図 37: 入射光子数に対する QE の値の相対的な変化。図下に、対応する Super B factory での稼働時間を示す。入射光子数と稼働時間の対応は、想定されるビーム強度におけるバックグラウンド粒子発生シミュレーションを行った結果である。

4.3.3 公募研究の成果

「強磁場中での動作が可能な RICH 用光位置検出器の開発研究」

強磁場中での動作が可能な RICH 用光位置検出器の開発に向けて、ハイブリッド型光検出器 (HPD) やマイクロチャンネルプレート内蔵 PMT (MCP-PMT) のシングルチャンネル型現存製品を使った基本性能試験を行った。その結果、数個程度までのフォトンピークが明瞭に区別されるなど、非常に高い性能を有することが確認できた。さらに、マルチアノード型検出器とその読み出し回路のデザインを行なった。

「高屈折率・高透過率シリカエアロゲルの開発」

シリカエアロゲルは他の物質で得られない特殊な屈折率を持ち、素粒子反応で生成される粒子の識別に最も有効なチェレンコフ光の輻射体として使用される。これまでのシリカエアロゲルは屈折率が 1.03 付近で光の透過率が高く、1.05 になると極端に透過率が悪化し、粒子識別の性能を落としていた。本研究ではシリカエアロゲルの製法を一から見直し、使用する原材料や溶剤を新規に開拓することで、1.05 の高屈折領域でも 1.03 と同等の透過率を得ることが出来た。そしてそれを用いた粒子識別装置を製作し、ビームテストにより粒子識別性能が大きく改善している事を確認した。

「Belle 測定器の高抵抗板検出器をスーパー KEKB で使うためのガスの研究」

チェンバーガスとして、アルゴン、イソブタン、テトラフルオロエタン、ヘリウム、六弗化イオウの混合ガスをテストした。ガスの条件として、不燃性でなければならぬので、イソブタンは 8% 以下でなくてはならない。また、六弗化イオウは価格が高いのと動作電圧が高いので、できるだけ混合比を下げる必要があるが、同時に高いレートにもっとも有効な成分でもある。動作電圧はチェンバーに負担をかけず劣化を長期にわたって最小に押さえるためには現在の Belle のチェンバーと同程度が望ましい。この制限の基にスーパー KEKB で予想される 10 Hz/cm^2 のバックグラウンドまで 1 層当り 70% 以上 (2 層で 90% 以上) の検出効率を保持できる混合ガスは存在しないことがわかった。

「エアロジェル RICH 検出器の開発研究」

シリカエアロジェルを輻射体に用いたリングイメージング型チェレンコフ検出器 (エアロジェル RICH 検出器) の開発研究を行い、以下の成果が得られた。1) 調合条件の最適化 (原料や溶媒の選択) によって $n=1.05$ 程度のエアロジェルの透過率を大幅に改善するとともに、エアロジェルタイルの大型化や境界付近での光損失が少ない六角形タイルの製作など実用面上での開発研究も進んだ。また、エアロジェル中の光の散乱効果を詳細に測定するテストベンチを製作し、表面での微小散乱の効果や屈折率の波長依存性に関する理解が進んだ。2) エアロジェル RICH 用の光検出器として $12\text{ch} \times 12\text{ch}$ のマルチピクセル HAPD の試作を行い試作一号機が完成した。まだ安定に動作するサンプルは得られていないが、製作ノ

ウハウの蓄積が進み、今後の試作で開発の成功を目指す。また、本研究で整備したテストベンチは、今後の試作に供するものである。以上の実用化を目指した研究に加え、3) 異なる屈折率のエアロジェル輻射体を用いた多重輻射体という新規のアイデアによって、光量を約 50% 増加することにも成功した。

「波長変換剤を添加した改良型シリカエアロゲルの開発」

PMP, PPO, DPO, POPOP, α -NPD, P-ターフェニールなどの波長変換剤をアルコールにも溶かし、物理的に波長変換剤をシリカアルコールゲルの骨格に混ぜ込んでの添加を試みた。しかし、作成されたサンプルを超臨界乾燥で溶剤を抽出しシリカエアロゲルを作成したところ、超臨界乾燥でほとんどの波長変換剤が抽出されてしまい、シリカエアロゲル中には残存しないことが判った。一方、波長変換剤を真空蒸着でシリカエアロゲルの表面に添加したのも試作したが、蒸着の厚さが 50 nm と薄かったために、若干の効果は得られたが、期待されたほどの効果は得られなかった。この方式では 0.1 μ m 以上の厚さが必要となるが、製作に時間がかかりすぎ、大量生産には向いていない事が判った。これらの結果を踏まえ物理的添加と平行して化学的に添加する手段を薬品メーカーの技術者と相談しながら検討した。具体的には、シリカエアロゲルに含まれる水酸基を強制的に α -NPD に置換する方法を積極的に進めた。 α -NPD のベンゼン環に結合する水素原子を、COOH に置換した試薬を合成し、それをシリカエアロゲルの骨格に結合させるものである。また化合物の電子軌道計算により、この物質では 354 nm に吸収光のピークが存在すると見積もられた。しかし、薬品メーカーによる努力にも関わらず、目的の試薬の収量は極端に少なく、実際にシリカエアロゲルに添加することは出来なかった。

4.3.4 主要論文

- “Progress report on Time-Of-Propagation counter - A New type of ring imaging Cherenkov detector”, Y. Enari, et al., Nucl. Instr. Meth. A 494, 430-435 (2002).
- “Search for the Electric Dipole Moment of the tau lepton”, K. Inami, et al. (Belle Collaboration), Phys. Lett. B 551, 16 (2003).
- “An Upper Bound on the Decay $\tau \rightarrow \mu\gamma$ from the Belle Detector”, T. Ohshima, et al. (Belle Collaboration), Phys. Rev. Lett. 92, 171802 (2004).
- “Search for neutrinoless decays $\tau \rightarrow \ell\ell\ell$ ”, Y.Yusa, et al. (Belle Collaboration), Phys. Lett. B 583, 103 (2004).
- “Search for lepton flavor violating decays $\tau \rightarrow \ell\pi^0, \ell\eta, \ell\eta'$ ”, Y. Enari et al, (The Belle Collaboration), Phys. Lett. B 622, 218 (2005).
- “RICH with multiple aerogel layers of different refractive index”, S.Korpar, T. Iijima et al. Nucl. Instr. and Meth. A 553, 64 (2005).
- “Search for neutrinoless tau decays $\tau \rightarrow \ell hh$ and ℓV^0 ”, Y.Yusa, et al. (Belle Collaboration), Phys. Lett. B (2006).

主要論文

4.4 A04 K ファクトリーを用いた $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の研究

研究目的と概要

我々の推進している研究の究極の目的は、 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ の分岐比を精密測定して、標準理論を越える物理による、粒子・反粒子の対称性の破れ (CP の破れ) を探ることである。そのために本 A04 計画研究では、この究極の目的を達成するために必要な基礎研究を段階的に押し進めた。

本研究で扱う $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ という中性 K 中間子の崩壊は、図 38 に示すようなファインマンダイアグラムによって起きる。標準理論によれば、ここで s クォークが t クォークを介して d クォークに遷移する時に、3 世代のクォーク間の混合を表す小林益川行列に含まれる複素位相が入る。 K_L の崩壊の振幅は、 K^0 の崩壊振幅と、その反粒子の \bar{K}^0 の崩壊振幅の差に比例するので、 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ の崩壊分岐比は、小林益川行列の成分の虚数部 ($Im(V_{td})$) の自乗に比例する。しかし、このダイアグラムのループに、超対称モデルなど標準理論を越えた新しい物理による粒子がループの中に介在した場合には、その粒子が新たな複素位相を持ち込む可能性があり、崩壊分岐比が、B 中間子の崩壊の測定から標準理論にもとづいて予測される値とずれる。 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊に関与するのは弱い相互作用だけであるので、理論的な不確定性が約 2% と小さく、新しい物理が寄与する場合も正確な測定ができる。

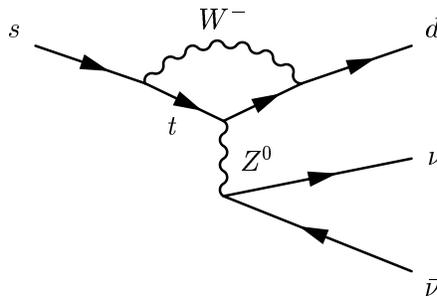


図 38: $\bar{K}^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ のファインマンダイアグラム。

しかし、 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ の分岐比を測定する実験は非常に難しい。これは、分岐比が標準理論によれば約 3×10^{-11} と小さいこと、崩壊の同定が困難なこと、 $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ から出る 4 つの γ のうち二つを見失うことによっておきるバックグラウンドなどがあること、などのためである。現在、分岐比の直接的な測定としては、Fermilab KTeV 実験によって $BR(K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}) < 5.9 \times 10^{-7}$ (90% CL) と上限値を与えられているだけである。

標準理論を検証し、新しい物理の効果を探るためには、この $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ を 100 事象以上観測し、崩壊分岐比を 10% 以下の精度で測定する必要がある。現在よりも感度を 6 桁改善するには、経験を生かしつつ段階的に高い感度の実験を行っていくことが必要である。

この基本方針に従い、本研究では、まず KEK 12GeV 陽子シンクロトロンを用いて実験 (KEK E391a 実験) を行った。さらに、現在建設中の J-PARC の大強度陽子シンクロトロンを用いてこの崩壊を 100 事象以上観測するための実験の計画を立案した。また、実験のためにビームラインや測定器の基礎的な開発研究を行った。

4.4.1 KEK E391a 実験

はじめに

KEK の 12GeV 陽子加速器で行なわれた E391a 実験は、これまでの実験で得られた上限値を数桁改善すると共に、前述したように、J-PARC の大強度陽子加速器を使用する高感度実験へ向けて測定方法を確立するという目的を持つ。実験は、ロシア、韓国、台湾、米国、日本の 12 機関からの約 60 名の参加で行なわれた。

$K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の測定には、非常な困難を伴う。まず、関連する粒子が全て中性であり、飛跡などの測定が出来ない。更に、 $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊が測定不能なニュートリノ (ν) を 2 個含む 3 体崩壊なので、運動学的にはっきりとした同定ないしは制限をつけることが出来ない。しかも、予想される分岐比が小さいので、 K_L^0 ビーム強度を上げる必要があり、その為に高計数率下での測定が余儀なくされ、バックグラウンドの除去がさらに難しくなる。

この実験での測定の基本的な方法は、

1. $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊で出来た π^0 からの 2 個の γ 線の位置とエネルギーを、電磁カロリメーターで測定し、極小質量の ν を伴うこの崩壊の特徴を利用して、 π^0 が横方向に大きな運動量を持つことを要求し、事象を選び出す、
2. K_L^0 中間子の他の崩壊モードの殆どが、 π^0 以外に 2 個以上の余分な粒子を伴うという特徴を生かして、崩壊領域を高感度の検出器で覆い、それら余分な粒子を検出し、その事象をバックグラウンドとして除去する、

というものである。

K_L^0 ビームの飛跡は測定出来ないので、1 の為には、ハローの少ない細いビームを作ることが求められる。一方、2 に対しては、検出効率として 99.99 % を達成することが求められる。その為には、崩壊領域から見る全立体角が隙間無く覆われる配置が必要なばかりか、関与する荷電粒子や γ 線に対して極めて高い検出効率が要請される。 γ 線に対して高い効率を得る為には、厚くて重い検出器が必要となる。「ハローの少ない細いビームを作る」ということと「極めて高い効率の検出器で隙間無く覆う」ということに加えて、もう一つの挑戦的な課題は、「高い効率を保つ為に検出器直前の物質量を最少にし、かつ、ビームとの反応を避ける為に空気を除去し、 10^{-5} パスカという高真空を達成する」という課題である。J-PARC での高感度実験を企画するには、これら 3 つの課題を、E391a 実験段階で解決しておくことが特に重要となる。

1999 年暮れに実験が認められた後、2000-2002 年にビームラインの建設と性能試験 (ビームサーベイ実験) を行なった。2002 年秋には、下流部カロリメーターを使った試験 (エンジニアリング・ラン) を行い、本格的な測定器建設を経て、2004 年 1 月から 2005 年 5 月までに、3 つ期間に分けて、データ採取を遂行した。その後は、データ解析を進め、現時点 (2006 年 8 月) で、これまでの上限値を 1/2 にした結果を論文として発表した¹⁾。これは最初の期間の約 10 分の 1 サンプルを解析した結果であり、今後解析

¹⁾ "New limit for the $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ decay rate", J. K. Ahn *et al.*, accepted for publication in Phys. Rev. D (2006).

が進めば、計画通り、2ないし3桁の改善が予想されている。まとめると、J-PARC 実験を企画する上で重要な3つの課題をほぼ達成し、感度についての目標もほぼ達成されようとしている。

測定装置

図 39 に、E391a 実験用に、KEK・東カウンターホールに建設された K0 ビームラインの模式図を示す。タングステン合金等を使用した6段のコリメーターと2台のスィープ用電磁石などで構成されている。その性能は、建設後2年に亘るビームサーベイ実験で調べられた。10 m のビームライン直後でのビームのプロファイルを図 40 に示す。設計どおりビームは半径 40 mm 以内に絞られ、ハロー部の粒子密度が中心部に比べて5桁以上少なく、これまでで最も鋭利なビームを作ることが出来た²⁾。

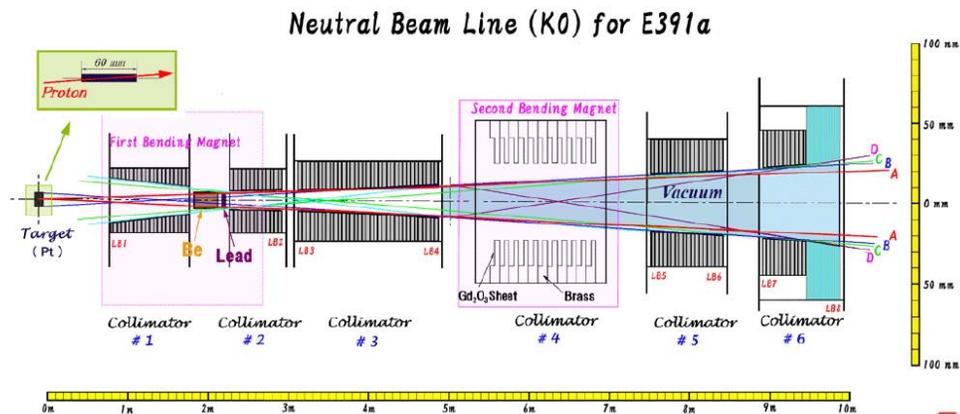


図 39: KEK E391a のビームライン。左側に示す固定標的に陽子を当て、下流に並べたコリメーターによって、ハローの少ない中性ビームを作る。

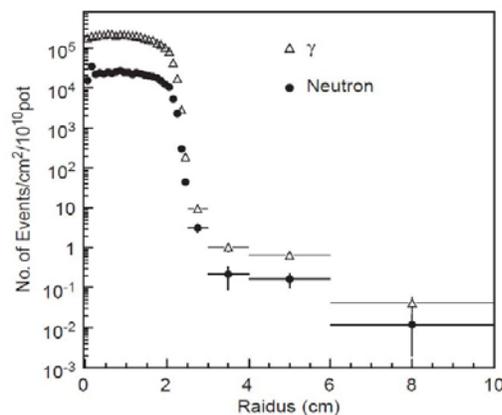


図 40: ビームサーベイ実験で測定した、中性子 (黒丸) とガンマ線 (白三角) の分布。横軸は、ビーム中心からの距離を表す。

図 41 は、E391a 測定器の全体立体図といくつかのパーツの完成後の写真である。

²⁾Neutral beam line to study $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ decay at the KEK 12-GeV proton Synchrotron”, H. Watanabe et al., Nucl. Instr. and Meth. A 545 (2005) 542-553.

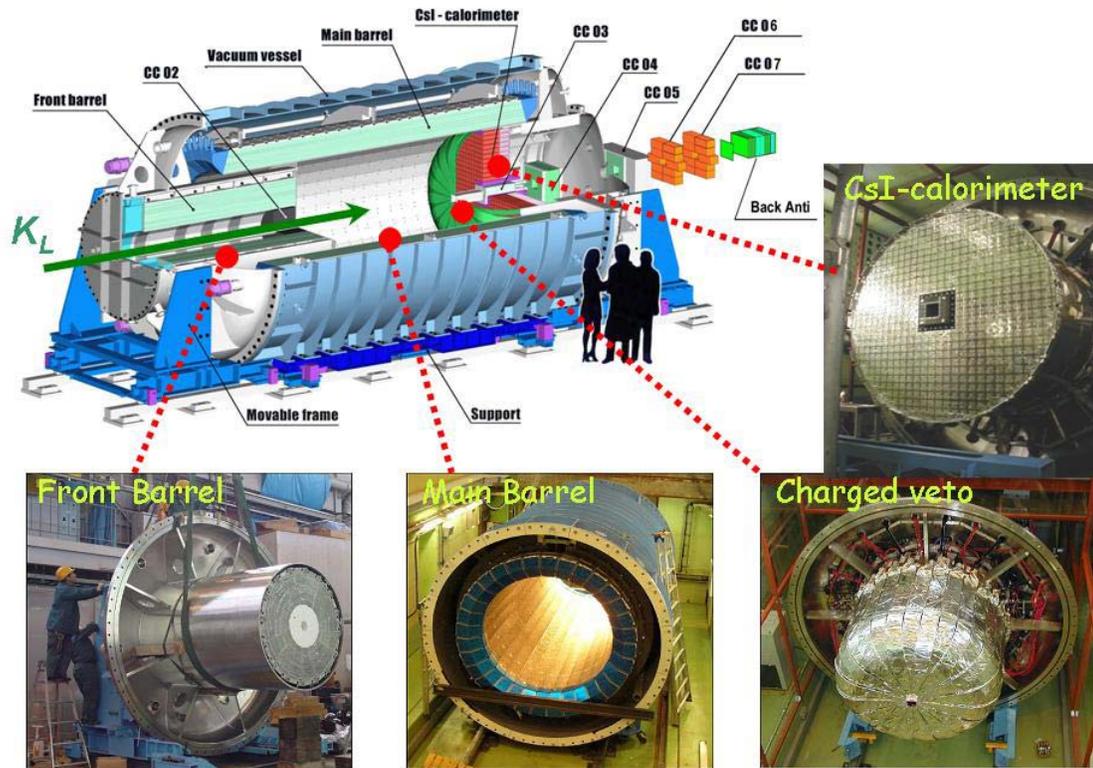


図 41: E391a 実験の測定器を切り欠いた図と、各部分の写真。

$K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊で生まれる 2 つの γ 線のエネルギーと位置は、約 500 本の CsI 結晶を円形に並べた CsI-Calorimeter³ で測定される。Charged-Veto は CsI-Calorimeter に荷電粒子が入射する事象を除去するための検出器であり、Front-Barrel と Main Barrel は、余分な γ 線や荷電粒子を伴う事象を除去する為のものである。基本的には Front-Barrel と Main-Barrel の組み合わせによって崩壊領域を覆っている。残るビーム領域は、ビーム近傍に各種のカラーカウンター (CC) を配置し、更に上流部については箱状の囲みを追加し、下流部についてはビームプラグ (Back-Anti) を置くなどの工夫をしている。

大半の測定器を真空容器内に置き、容器内に厚み 200 μm のプラスチック製の薄膜を張り、測定器を含む外側領域とビームが通過する内側領域に二分している。中央部の真空容器は、特定領域の予算を用いて制作した。外側領域を真空にすることで負荷する圧力を減らして隔壁として薄膜の使用を可能にし、大量の脱ガスが避けられない測定器を内側領域から追い出すことによって、ビームの通る内側領域で高真空 10^{-5} パスカルを実現している。

CsI 結晶は、以前行なわれた E162 実験で用いたものを再利用した。Front-Barrel と Main Barrel は、プラスチックシンチレーターと鉛のサンドイッチしたタイプのもので、波長変換ファイバーによる読み出しを選択した。その際、それに適合する、MS 樹脂を使った押し出しシンチレーターと新規の光電子増倍管・EGP-PMT⁴ 等の開発を行なった。Main Barrel と EGP-PMT は特定領域の予算を用いて制作・

³⁾Undoped CsI calorimeter for the $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ experiment at KEK-PS”, M. Doroshenko et al., Nucl. Instr. and Meth. A 545 (2005) 278-295.

⁴⁾Development of a new photomultiplier with high sensitivity for a wavelength shifter fiber readout.”, M. Itaya et al.,

開発した。Front-Barrel や Main Barrel のような、大型のカロリメターを波長変換ファイバーによって読み出した例が少ないので、シンチレーターの加工、ファイバーの取り付け、組み上げなどで、技術的ノウハウを習得した。図 42 は、組み立て中の作業現場の写真である。



図 42: 崩壊領域を囲む Main Barrel という鉛とシンチレータを積層した測定器を組み立てている様子。

データ採取と解析結果

2004 年 1 月に測定器完成と同時にデータ採取を始め、2005 年 11 月まで、断続的に、Run1, 2, 3 の 3 期間（合計で約 8 ヶ月）走った。

まず、採取期間を通して、上記した 3 つの最重要課題：「ハローの少ない細いビームを作る」、「極めて高い効率の検出器で隙間無く覆う」、「検出器直前の物質量を最少にしつつ、ビーム軸上で 10^{-5} パスカという高真空を達成する」という課題が達成されていることを確かめた。

図 43 は、CsI-Calorimeter で 6 つの γ 線が検出された事象の中から、3 つの γ 対 (π^0) が同じ位置から生じたという条件で事象を選び出し、その 3 つの π^0 の普遍質量を求めた分布である。 K_L^0 中間子の質量である 497MeV に鋭いピークが見られ、 $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0$ 崩壊が明確に測定されているのが分かる。ヒストグラムで示されたのは、 $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0$ 崩壊を仮定したモンテカルロシミュレーションによる予測値で、それとの一致も良い。この他にも、様々な過程の様々な変数の分布で、シミュレーションの再現性を確かめ、データ解析、特にプロセスの解明に役立てている。

図 44 は、Run1 の約 1 週間分のデータを解析した最終のプロットである。データの解析には、特定領域で購入した PC farm を用いた。横軸は K_L^0 中間子のビーム軸上の崩壊点 (Z_{VTX})、縦軸は π^0 のビーム軸に対する横方向運動量 (P_T) を示している。 Z_{VTX} の小さい、即ちビーム上流にかたまった事象は、CC02 カウンター等にビームのハローが当たって生じたものであり、下流部の事象は Charged Veto

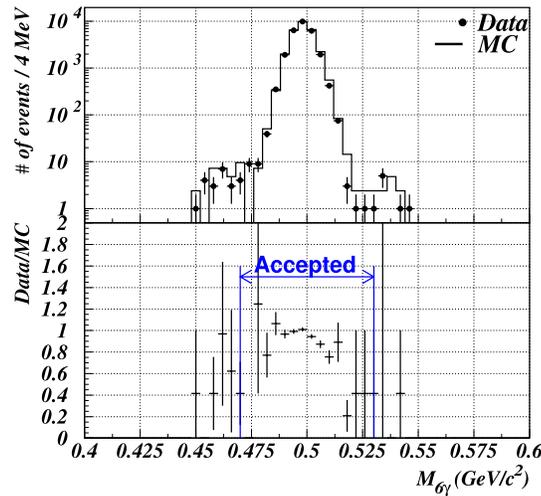


図 43: カロリメータで観測した 6 つのガンマ線から再構成した不変質量の分布。点はデータ、ヒストグラムはモンテカルロシミュレーションを表す。下に、各点でのデータとモンテカルロの比を示す。

などにビームが当たったものである。実線で囲まれた領域には事象が無く、その領域で $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊が観測され得る予測値 (アクセプタンス) を使って、 2.1×10^{-7} (90%信頼区間) という、崩壊分岐比の上限値を得た。これは、これまでの実験結果を約 2.8 倍改善するものである。実は、Run1 では、真空隔壁膜が、設置のミスによって Charged-Veto 付近のビーム軸上に垂れ下がっていた。その為に、ビーム中心部が膜に当たり、多数のバックグラウンドを作った。詳細な検討の結果、下流部に見られる事象と小さな P_T 領域に見られる事象は殆ど、この影響によるものと考えられる。Run2 の前に膜を再セットし、Run2 の同量サンプルを解析した所、これらの事象は著しく減少し、信号域周辺はより清浄化されている。ともかく、今後、全てのデータを解析することによって、目標としていた数桁の改善が達成できるものと期待している。

4.4.2 J-PARC 大強度陽子シンクロトロンでの実験

J-PARC 大強度陽子シンクロトロンで行う新たな実験のために、まず 2002 年 12 月に Letter of Intent を提出した。その後 KEK E391a 実験で得た経験を踏まえつつさらに実験の検討を進め、実験計画書を 2006 年 4 月に提出した。2006 年 7 月に行われた実験審議委員会で審議された結果、この実験計画は、その物理的意義と確実な実験方法を認められ、Stage 1 Approval を得た。以下、J-Parc で行う実験の計画を説明する。

J-Parc では、Step 1, Step2 の 2 段階に分けて実験を行う。Step 1 の実験は、J-Parc のビームが出始めた初期に、現存の E391a の実験装置に必要な改良を加えて実験を行う。ここでは、 $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ の崩壊から理論的に予測されている上限値よりも下の領域で新しい物理の効果を探すとともに、標準理論による崩壊事象の初の観測を目指す。Step 2 では、より最適化した K_L のビームラインと測定器を建設し、100 事象以上の観測を目指す。

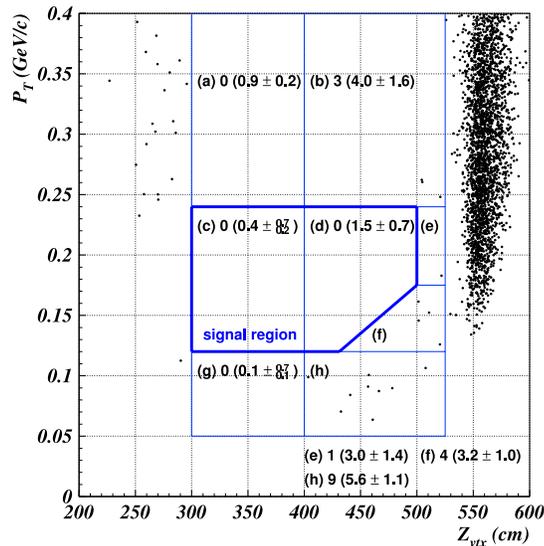


図 44: Run 1 の 10% のデータを解析した結果残った事象の、崩壊地点 (Z_{vtx} と π^0 の横方向の運動量 (P_T) の分布。領域 (c) と (d) がシグナル領域である。各領域に実験で得られた事象数と、括弧の中にモンテカルロシミュレーションで予測されるバックグラウンドの事象数を示す。 $Z_{vtx}=570\text{cm}$ 近傍の事象は、膜にビームが当たってできた π^0 などである。

ビームライン

図 45 に、Step 1 での実験のビームラインを示す。シンクロトロンから、 2×10^{14} 個の 30 GeV の陽子を 3.3 秒ごとに引き出し、他の実験と共通で用いる固定標的に当てる。陽子ビームから 16° 離れた方向にコリメータと電磁石を置き、その方向に出る中性粒子のビームを作る。ビームの立体角は $9\mu\text{str}$ である。これにより、1 パルスあたり、2m の長さの領域で、 2.9×10^5 個の K_L の崩壊が得られる。 K_L の平均運動量は 2.1 GeV である。

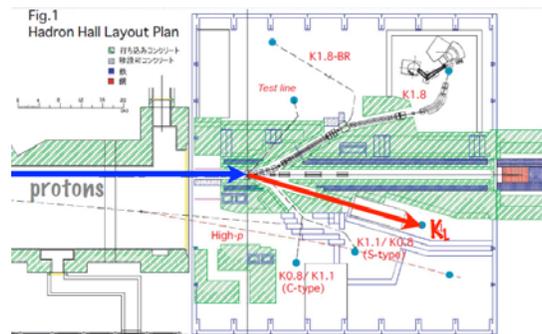


図 45: J-Parc の初期のビームライン。全ての実験に共通の固定標的に陽子ビームを当て、 16 度の方向に中性 K 中間子のビームを引き出す。

このビームラインでは、ビームの外側に広がる中性子のハローをいかに抑えるかが問題となる。E391a 実験で開発した手法を基本とし、図 46 に示すように見込み角の異なるコーン状の穴を持つコリメータを並べることで、標的から出た中性子が直接、コリメータの内側の壁をたたかないように工夫をする。

測定器

J-Parc で用いる Step 1 の測定器の断面図を図 47 に示す。測定器は、基本的には E391a 実験のものを

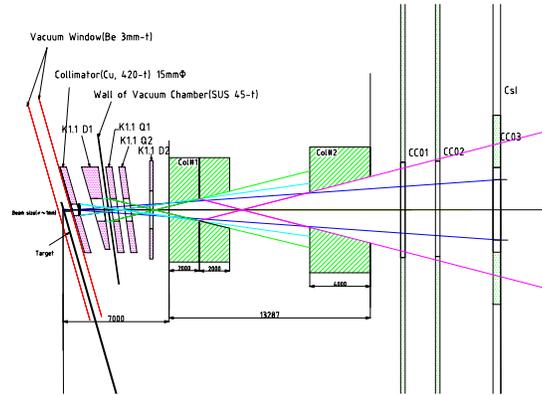


図 46: J-Parc での Step 1 の実験のためのコリメータの基本図。コリメータの内側の壁での散乱を防ぐように、穴の傾斜を各段で変えている。

用いるが、主に次の変更を加える。

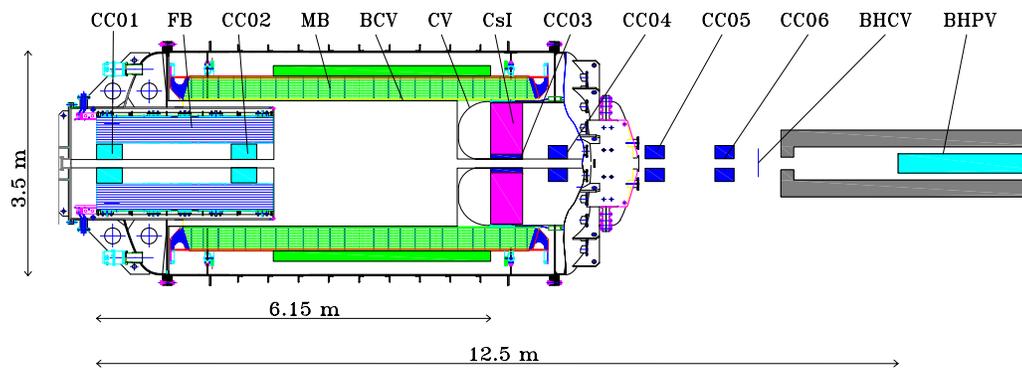


図 47: J-Parc Step 1 実験装置の断面図。ビーム下流に、鉛とエアロジェルによるガンマ線検出器を配置している。

1. 電磁カロリメータ

KEK E391a 実験で用いている、7cm 角、30cm の長さの CsI の結晶を、Fermilab の KTeV 実験で用いた 2.5cm 角と 5cm 角、50cm の長さの CsI の結晶に置き換える。これにより、近接してカロリメータに当たった二つのガンマ線を一つと見誤ることによるバックグラウンドを減らすことができる。また、ガンマ線による電磁シャワーの形を細かく観測することができるため、中性子などとの識別も容易になる。

さらに、各 CsI の結晶に取り付けられた光電子増倍管からの波形を記録し、異なる時間に来た二つのガンマ線を識別することによっても、バックグラウンドの量を下げる。

2. 崩壊領域周りのガンマ線検出器

崩壊領域を覆う円筒状のガンマ線検出器の読み出しも、波形を記録する方法に切り替え、大きなパルスの後ろに重なったパルスも識別することにより、バックグラウンドを抑える。また、現存の測定器の後ろに約 5 放射長分の鉛とシンチレータを付け足すことにより、反応せずに測定器を突き抜けるガンマ線の量を減らすことを検討している。

3. ビーム中のガンマ線検出器

$K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ のバックグラウンドの大きな寄与の一つは、崩壊から出る4つのガンマ線のうち、1個が見失われ、もう1個が電磁カロリメータ中央に開けられたビーム穴を通して下流に逃げる場合である。ビーム穴の下流に置くガンマ線検出器は、ビーム中の高い中性子のレートの下でもガンマ線を検出できる必要がある。そこで、京都大学で開発した、鉛とエアロジェルを組み合わせたチェレンコフカウンター (BHPV) を用いる。

4. データ収集システム J-Parc の実験では、高いレートの中でも必要な信号を識別するために、全ての検出器からの信号の波形を記録して解析する。さらに、トリガーに用いる信号も FADC でデジタル化した信号から作ることを計画している。

シグナルに対する感度とバックグラウンド

モンテカルロシミュレーションを用いて、実験の感度とバックグラウンドを見積もった。まず、 $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ からのバックグラウンドを落とすために、電磁カロリメータに 0.1 GeV 以上のガンマ線が2個あり、崩壊領域を取り巻くガンマ線検出器に約 1 MeV 以上のガンマ線がないことを要求する。また、電磁カロリメータに当たった2個のガンマ線の不変質量を π^0 の質量と仮定して崩壊位置を求め、それが 2 m の長さの崩壊領域にあることを要求する。さらに、 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊からの π^0 が有限の横方向の運動量 (P_T) を持つ事を要求し、 $K_L \rightarrow \gamma\gamma$ などからのバックグラウンドを抑える。この要求は、 $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ のバックグラウンドに対して、見失うガンマ線のエネルギーが高いことを要求するため、ガンマ線を見失う確率を下げ、バックグラウンドの量を下げられるためにも有効である。

また、 $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ の崩壊で、 π^+ と π^- を見失うと、同じくバックグラウンドとなる。従って、カロリメータ、および崩壊領域を囲むガンマ線検出器の前にシンチレータを配置して、荷電粒子を含む崩壊事象を排除する。

再構成した崩壊地点と P_T の分布を、 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ シグナル (図 48)、 $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ と $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ のバックグラウンド (図 49) について示す。図中に四角はシグナル領域を示す。

3.3 秒間隔で 2×10^{14} 個の陽子を標的に当て、 3×10^7 秒間データを収集すると仮定した場合、得られる事象数はシグナルが 3.5、 $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ バックグラウンドが 1.8、 $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ バックグラウンドが 0.46 である。その他のバックグラウンドも足すと、バックグラウンドの総量は 2.56 事象であり、S/N 比は 1.4 となる。

準備状況

実験審議委員会で Stage 1 approval を得たので、実験の実施に向けてより具体的な準備作業を行っている。特に、現在は次のものに焦点を当てている。

- ビームラインの基本設計

カロリメータでの中性子の反応について、基礎的なシミュレーションを行っている。また、基礎的なシミュレーションで決めた結果を検証するために、標的の形、その下流にある磁石の列など、全て

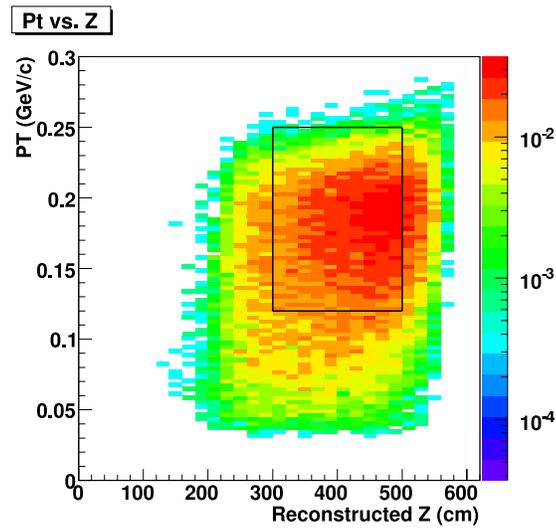


図 48: J-Parc Step 1 実験の $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ シグナルのシミュレーション結果。再構成された、 π^0 の崩壊地点 (Z_{vtx}) と π^0 の横方向の運動量 (P_T) の分布を示す。黒い四角は、シグナル領域を示す。

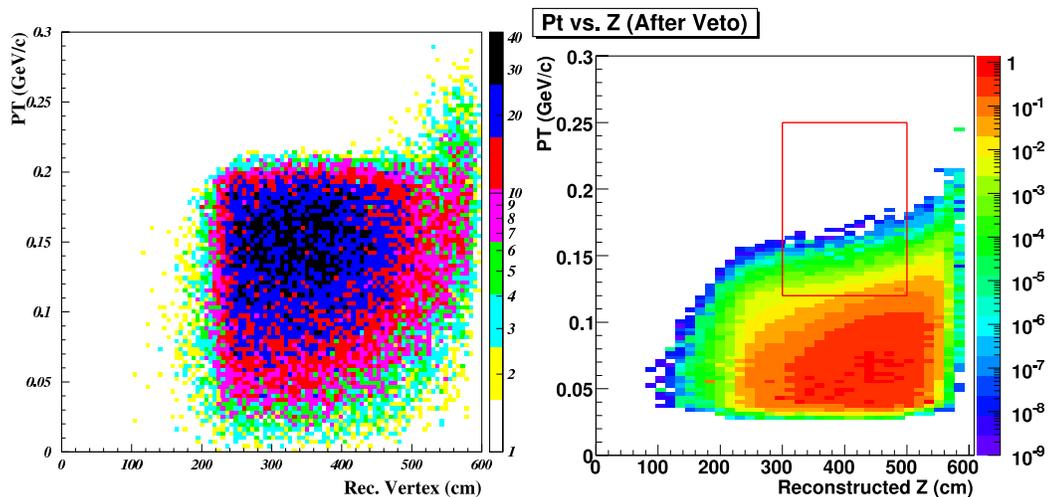


図 49: J-Parc Step 1 実験のバックグラウンドのシミュレーション結果。再構成された、 π^0 の崩壊地点 (Z_{vtx}) と π^0 の横方向の運動量 (P_T) の分布を示す。左は $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ のうち、同じ π^0 から 2 個のガンマ線を見失った場合、右は $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ の π^+ と π^- を見失った場合。

を再現するシミュレーションも作成した。2006 年中に、コリメータの設計に目処をつける予定である。

- KTeV CsI

2005 年から、Fermilab から KTeV の CsI 結晶を借り受ける要望を出している。今回 Stage 1 approval を受けて、2006 年 8 月にシカゴ大の Wah, 阪大の山中, ミシガン大の Campbell で Fermilab の Kim 副所長と会見して、再度借り受けの要請をした。返事は非常に前向きであり、11 月に Fermilab と KEK の所長間で予定している会合で決めたいとのことであった。

また、CsI の結晶の移送の方法についても 8 月に Fermilab でエンジニアや実務レベルの人たちと打ち合わせを行い、準備を進めている。

- データ収集システム

CsI カロリメータの波形読み出し方法についても、シカゴ大学と Fermilab の回路室のエンジニアを交えて、8 月に打ち合わせを行い、基本的な技術方針を検討した。これからさらに、検討を進めて設計と開発を行う。目標として、数十チャンネル分の読み出し回路を作り、2007 年 3 月に Fermilab で実際に試験を行う。

- モンテカルロシミュレーションのテスト

K 中間子や中性子の生成断面積、中性子の物質中での反応や、光子が物質に当たって中性子を出す光核反応の率は、シミュレーションのパッケージによって、その予測が異なる。従って、複数のシミュレーションパッケージについて、どれが最も我々が測定した値を再現するのか、比較している。

これらの開発と準備を押し進め、次の予定で実験を行う。

- 2008 年: K_L ビームラインを作り上げ、初めてのビームが出るとともにビームサーベイを行う。
- 2009 年: 残りの測定器を組み上げる。
- 2010 年: 遅い取り出しのビームとともに、データの収集を開始する。

J-Parc における Step 2 実験

Step 1 の実験で初めてのシグナルの観測を目指した次のステップは、100 事象以上崩壊を観測して、崩壊分岐比を求めることである。このために、新たな固定標的を設置し、中性ビームを 5° で取り出す。これにより、 K_L の収量を増やすとともに、平均運動量を $5.2\text{GeV}/c$ に上げてガンマ線の平均エネルギーを上げ、バックグラウンドの排除を容易にする。さらに、測定器全体の長さを 15m にして崩壊領域を 11m に延長し、カロリメータの直径も 3m まで大きくする。これらの最適化により、パルスあたり 3×10^{14} 個の陽子を標的に当て、 3×10^7 秒データを収集することにより、シグナルを 133 事象、S/N 比 4.8 で収集することができる。さらに細かな検討は、Step 1 実験の経験を反映させながら行う。

4.4.3 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 実験のための開発研究

ビームラインの開発

J-PARC K_L 実験では、光子の不感率を下げることで背景事象を減らすために本質的に重要であり、そのために約 1MeV という低い Veto 閾値を適用することを計画している。しかしながら、J-PARC 第一期ではプライマリービームラインと検出器の間に、もっとも薄い部分で 3 m 弱のシールドしか設置できないため、検出器壁側では 10mSv/h オーダーつまり 1 MeV-粒子換算で 10MHz/kg 程度の放射線レベルが想定されている。その主成分のひとつは熱中性子であるが、たとえば Barrel Calorimeter 中の鉛が熱中性子を吸収すると、高い確率で数 MeV の γ 線を放出するため、数 MHz で Veto 検出器がなり続けることになる。

そこで本研究では、特に放射線耐性に優れた熱中性子吸収剤の各種試験を行った。これまで熱中性子遮蔽材は、Gd や B をシリコンゴムやポリエチレンシートといった有機系の物質に混ぜ込むことにより製作されてきた。しかし J-PARC では検出器の近くに設置するとしても、常に ~ 10 mSv/h レベルの放射線に晒されることとなり、可能ならば放射線耐性に優れた無機系の材質を採用したい。また構造を作る際の強度、価格および扱い易さを考慮しセラミック系ではなく金属系の中性子遮蔽材について試作、試験を行った。具体的には、加工性が良く、耐蝕性に優れ、かつ中程度の強度を持つ Al-Mg 系アルミニウム合金を母材として、その表面に炭化ホウ素 (B_4C) を溶射することにより、表面に約 1mm 厚の MMC(金属基複合材料) 層を形成させて、写真 50(左) のような 10 cm^2 の中性子遮蔽材の製作を行った。MMC 層は金属とセラミックが混ざりあった状態で完全に無機物であり、放射線耐性の観点からは全く不安はない。

本試験ではまず機械的安定性をみるために剥離試験を行った。その結果 MMC 層は母材強度以上の強度があること、および同程度の強度にて母材と接合されていることが示された。また 200 度加熱による熱衝撃をあたえてからの剥離試験を行った結果、MMC 層の強度低下が見られたが、それでも母材の許容応力値程度の強度であるため、実用上問題とはならないことが確かめられた。

次に、塩水噴霧試験および硝酸浸漬試験を行った。前者は J-PARC が海沿いの施設であるため、後者は放射線により空気中の窒素と酸素より NOX が生成されることを想定しての試験である。試験の結果、減肉は見られなかったが、予想に反して MMC 層は腐蝕しやすいことがわかり、耐環境性能は不十分であることが判明した。この点に関してメーカーと議論を行い、腐蝕に關与する元素の排除をするために製造方法の改善検討を進めている。また、現在、山形大学 K_L グループにより中性子遮蔽能の測定および計算との比較を行っている。

Beam Hole Photon Veto (BHPV) の開発

崩壊領域全体を覆うヴィト検出器を構成するためには、中性ビームライン中に設置され、十分な性能を発揮する検出器が必須となる。Beam Hole Photon Veto (BHPV) は計画研究 A05 にて開発された検出器を J-PARC 実験用に最適化したもので、鉛コンバーターとエアロジェルタイルから成るカウンターをビーム進行方向に 25 層連ねたデザインとなっている (図 51)。

ここでの開発研究は二つの側面から行われた。一つは期待される性能をシミュレーションによって評

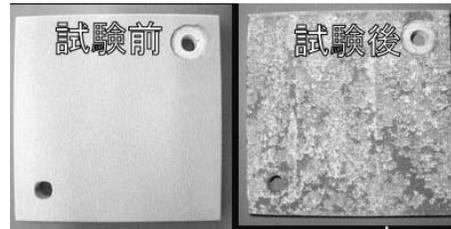


図 50: B_4C を溶射したアルミを母材とした耐放射線型中性子遮蔽材。左は塩水噴霧試験前, 右は試験後。明らかな腐蝕が認められた。

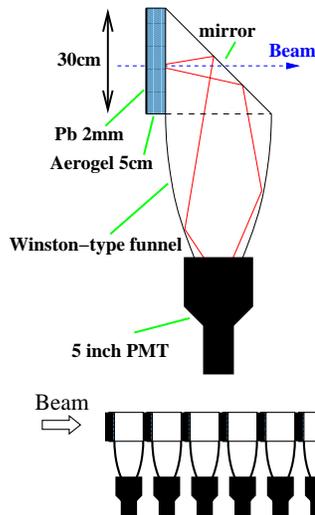


図 51: BHPV の概念図。左図:各モジュールの構成要素。光子の対生成によって生じた電子・陽電子がエアロジェルを通過する際に発生するチェレンコフ光をとらえる。下図:モジュールの配置図。光子によるシャワーは前方に伸びやすい一方, ハドロン反応の二次粒子は等方的に広がりやすいことを利用して, 光子・中性子の識別能力を高める。

価し, バックグラウンド事象の排除能力や誤認識によるイベントロスの確率を確認しつつデザインを最適化することである。図 52, 53 は得られた予測性能の一部で, 光子や中性子に対する検出効率を示している。現在までの最適化の結果, J-PARC での実験で要求される性能を満たすデザインを見出すことができている。

もう一つのアプローチはパイロット実験でもある KEK-E391a における試用である。強度は異なるものも実際の動作環境に近い中性ビーム中に試験機を 1 台設置することで, 期待通りの性能が得られるかどうか確認すること, そして同時にこの検出器の助けを借りて E391a 実験でのビーム中の光子成分, 中性子成分を識別すること, を目的としている。E391a 実験では 2005 年 11 月からのデータ収集期間 (Run-3) においてこの研究を行い, シミュレーションによる期待通りの性能が得られることを確認した。また, この試験機の計数率の検討を行う段階で, 中性子のみならず, ビーム中の低エネルギー光子が大きな寄与となっていることが判明し, J-PARC におけるビームラインをデザインする上で重要なフィードバックを与える結果が得られた。

スパゲッティ型ガンマ線検出器の開発

$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊実験において, さらなる実験精度向上を目指すために考えられることは, バックグラウンドである $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ 崩壊事象の排除能力を強化することである。特に, (1) 近接ガンマ線に対する高い分離能力, (2) ガンマ線の入射方向測定能力 を有するガンマ線検出器を開発する事である。これにより, 近接ガンマ線を 1 個として計数してしまう事象が除去でき, K_L 崩壊点の測定が可能になるため, 信

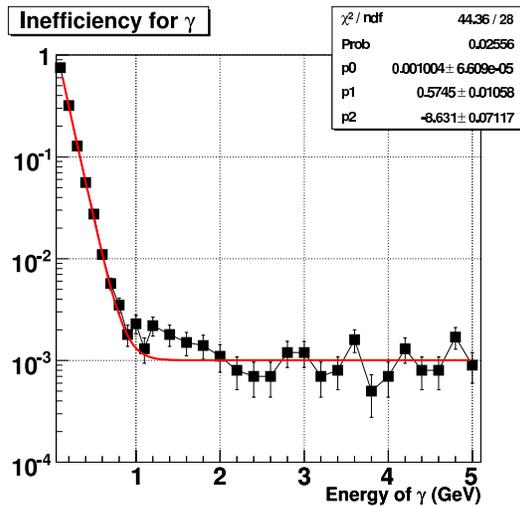


図 52: 予測される BHPV の光子検出効率。縦軸は検出に失敗する確率で書かれている。

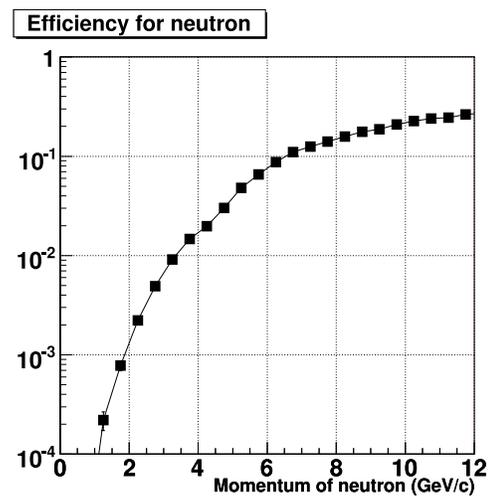


図 53: BHPV が中性子を光子と認識してしまう確率。横軸は中性子の運動量。

号-バックグラウンド比の向上が期待できる。そのような性能を持つ検出器の候補の一つが、スパゲッティ型ガンマ線検出器である。

スパゲッティ型ガンマ線検出器 (以下 SPACAL) とは、多数のシンチレーティングファイバと、ファイバが収まる溝のついた薄い鉛板との積層型検出器である (図 54)。SPACAL 検出器の研究は、既に多くの研究グループによってなされているが、いずれも多数のシンチレーティングファイバからの光を、まとめて 1 本の光電子増倍管で読み出すタイプであった。今回我々が開発した検出器では、個々のファイバを独立に光検出器で読み出す。これによって、シャワー分布からガンマ線の入射方向を決めることが出来、かつ近接ガンマ線の分離が容易になる。本研究開発では、 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の分岐比測定精度向上を目指し、個々のファイバを読み出せる SPACAL の試作検出器を製作し、高エネルギーガンマ線を用いたビームテストを行って性能を評価した。

まず、個々のファイバを読み出せる SPACAL 検出器の性能を、モンテカルロシミュレーションによって評価した。検出器の性能を決定するパラメータは、主としてシンチレーティングファイバの直径、およびファイバ間隔である。初期条件として、既に電磁カロリメータとして製作実績のある KLOE 実験グループが採用した構成 (ファイバ径 1 mm, ファイバ間隔 1.35 mm) を仮定した。その結果、3.2 放射長の SPACAL を主ガンマ線検出器である CsI 結晶の前面に配置した場合、1 GeV のガンマ線に対し 90% 程度のシャワー変換効率を持ち、ガンマ線入射位置分解能は 0.9 mm で、20 mm 以上離れた 2 個のガンマ線をほぼ 100% 分離する能力を持つことが示された。20 mm の分離能力があれば、バックグラウンドである $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0$ 事象を排除することが出来、崩壊分岐比測定の精度が有意に向上することが分かっている。一方、KLOE 実験の構成パラメータをそのまま利用すると、ガンマ線に対するサンプリング率が 10% 程度と比較的低いため、低エネルギーのガンマ線に対する検出効率が劣化することが分かった。この対策として、円筒型ファイバの代わりに角型ファイバを用いることで、サンプリング領域を増やすことが有効であることを確認した。シミュレーションによる性能評価で特に興味深い結果は、個々のファ

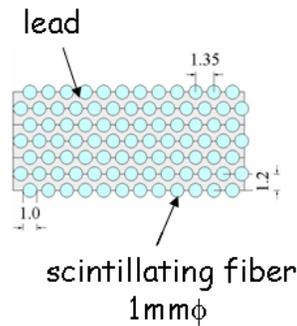


図 54: スパゲッティ型ガンマ線検出器の構造。多数のシンチレーティングファイバーと溝付き鉛板の積層構造を持つ。

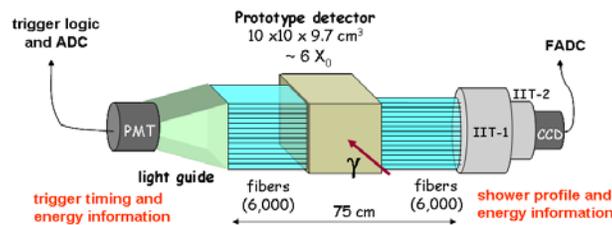


図 55: 試作検出器と読み出し装置

イバからの光を高分解能の装置で読み出さなくても、エネルギー分解能の劣化が少ないという特徴である。これは読み出し回路を単純化・低コスト化できることを意味し、多数のファイバを読み出す必要がある SPACAL 検出器にとっては重要な特徴である。

SPACAL 検出器の製作手法確立のために、縦横 10 cm、長さ 9.7 cm の試作検出器を特定領域の予算で作製した。ガンマ線変換物質である溝付き鉛板は、ワイヤ放電加工でファイバ溝に対応する突起をつけたステンレス製の型を用意し、プレス機で純鉛を加圧することで成型した。プレス面が比較的大きいため、容易に型から鉛板が剥離しない問題があったが、厚さ 20 μm のビニルシートを型に挟みむことで対処し、0.5 mm の純鉛板を 350 kg/cm² の圧力で加圧した時に、ほぼ設計どおりの加工が出来た。この鉛板を 79 枚と、1.35 mm 間隔に並べられたシンチレーティングファイバを 78 層積層・接着し、合計 5850 本のファイバーからなる試作検出器 (図 55) を完成させた。

試作検出器の読み出し装置に関して、通常利用される光電子増倍管を用いてシンチレーティングファイバー 5850 本を読み出した場合、試作機としては複雑過ぎるシステムになってしまう。したがって、今回イメージンテンシファイア (IIT) と CCD カメラで構成される光検出装置を準備した。この読み出し方法では、読み出し速度が犠牲になるが、シンチレーティングファイバからの微弱光 (10 光子弱程度) に対しても感度があり、かつケーブル 1 本で読み出すことが出来るため、システムが格段に簡素化されるメリットがある。直径 10 cm の受光面を持つイメージンテンシファイアと約 40 万画素の CCD の組み合わせを用いると、およそ 20 画素で一本のファイバを見込むことになる。

ガンマ線の入射角度および入射位置の性能評価のために、兵庫県西播磨の大型放射光施設 (SPring-8) において、約 2 GeV の高エネルギーガンマ線ビームを用いたテストを行った。実験で得られたガンマ線

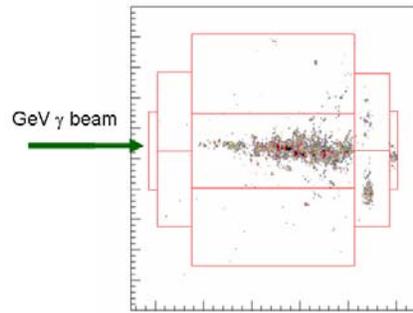


図 56: CCD で読み出したガンマ線シャワー画像

のシャワー画像を (図 56) に示す。現在までに、2 GeV 付近のガンマ線に対し 2 度程度の角度分解能であるという結果を得た。

高い量子効率を持つ光電子増倍管の開発

中性 K 中間子崩壊測定実験の KEK E391a 実験で使用された円筒形鉛-プラスチックシンチレータ積層ガンマ線検出器はビーム軸方向に 5m もの長さがあり、シンチレータの透過長から直接シンチレータからの光を両端から読み出すことはできない。そこで、透過長の長い Wave Length Shifter(WLS) ファイバーをシンチレータに埋め込み、シンチレータからの発光を一旦 WLS ファイバーに吸収・再発光させファイバー内を進む光を読み出すことで長い領域での読み出しを可能にしている。この方式の欠点はシンチレーション光を吸収・再発光させるプロセスが途中に入るため、光検出器まで到達する光量は大幅に減少している点である。光検出器での獲得光電子数は検出器の検出効率に大きく影響するので、少なくなった光を効率よく検出するためプリズム型光電面の光電子増倍管 (図 57) を特定領域の予算を用いて開発した。この光電子増倍管は光電面をプリズム状に加工することで、ほぼ平行光でやってくるファイバーからの光に対する見かけ上の量子効率をあげることができる。このプリズム型光電子増倍管を試作し標準的な光電子増倍管と比較したところ、WLS Fiber 読み出しにおいて約 1.8 倍の光電子数が得られることがわかった (図 58)。さらに、ファイバー読み出しで重要になる獲得光電子数の位置依存性やプリズム型光電面による熱電子雑音や時間分解能の悪化などの性能評価を行った。この光電子増倍管は KEK E391a 実験の WLS Fiber 読み出しの円筒形ガンマ線検出器を中心に 200 本以上使用され十分な成果をあげている。

J-Parc の Step 2 実験で検討している円筒型ガンマ線検出器はさらに長くなる予定で、ガンマ線の位置・角度分解能の向上が必要となっている。そのために、読み出し WLS Fiber を分割する案がある。その場合には読み出しチャンネルの増大が予想され、それに対応するためマルチアノード型の光電子増倍管にターゲットを移して引き続き開発を続けた。まず、R329-EGP と同様にプリズム型光電面の開発を検討したが、プリズム形状の作成や光電面付近での電場の安定性等検討すべき課題が多かったため、まず WLS の発光波長 (450-580nm) での量子効率の高い光電面素材であるマルチアルカリ光電面で試作をして評価を行った。その結果、WLS Fiber 読み出しにおいて通常 (バイアルカリ) 光電面の光電子増倍管と



図 57: 左が今回開発したプリズム型光電面光電子増倍管 (R329-EGP), 中央が通常の光電子増倍管 (R329) の写真。プリズム形状の構造を右に示す。

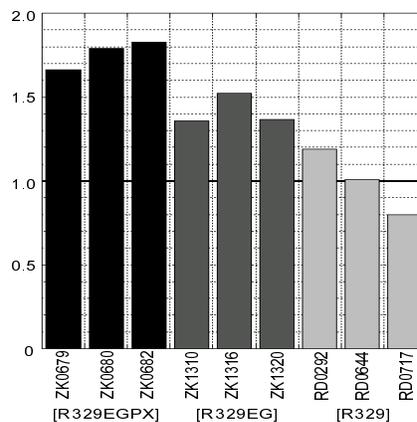


図 58: プリズム型光電面光電子増倍管の獲得光電子数の比較。左からプリズム型光電面, Green-Extended 光電面, 通常品の順に 3 本ずつ測定した結果である。プリズム型光電面の光電子増倍管の獲得光電子数は通常品の約 1.8 倍になっている。

比べて約 1.2 倍の光電子数を獲得できることがわかった。

その後も引き続き検討を重ねた結果, マルチアノード型でもプリズム形状を小さく (1.5mm 間隔 → 0.3mm 間隔) にすることで製作できる目処がたち, プリズム型光電面のマルチアノード光電子増倍管を試作した (図 59)。

ストローチェンバーの不感率測定

J-PARC KL 実験の Step2 において, 荷電粒子検出器としてストローチェンバーを用いる計画がある。この検出器の利点は, これは従来のプラスチックシンチレータを用いた検出器と併せて冗長性を持たせられること, ミリメートル以下の位置分解能が期待できるため荷電粒子の精密なトラッキングができること, またこれを利用すると $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ 崩壊における π^0 生成点を π^+ と π^- のトラックから求めて, この π^0 の崩壊からの 2 本の光子を検出器のキャリブレーションに利用できること, などである。

荷電粒子の検出は, J-PARC K_L 実験においてバックグラウンドを低く抑えるために極めて重要であり, 検出器の不感率が 10^{-6} 程度に抑えられていることが必要である。2005 年 11 月にフェルミ国立加速

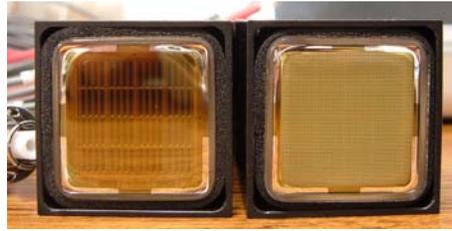


図 59: 通常光電面 (左) とプリズム型光電面 (右) のマルチアノード型光電子増倍管の写真

器研究所の MT6 テストビームラインにおいてストローチェンバーの性能試験のためのビームテストを行った。このチェンバーは、カプトン製の内径 5.0 mm のストローの中心に金メッキタングステンワイヤーを張ったものであり、作動ガスとしてアルゴンとエタンを流した。今回は、図??のように、10 本のストローチェンバーをすき間なく配置したものを 2 層、互いにストローの半径分ずらしてストローの壁の不感領域をなくすよう設置したものを一組とし、これを二組並べてテストした。MT6 ビームラインでは、約 5 ~ 120 GeV の荷電粒子を利用できる。チェレンコフカウンターを用いて粒子を識別し、ストローチェンバーの前後に配置した計 3 組の MWPC を用いて粒子の通過位置を測定した。ストローチェンバーの動作電圧および信号検出の閾値、ビームの運動量、作動ガスを変えたセットアップにおいて、それぞれ検出効率を測定した。またストローの物質中で荷電粒子が反応して γ に変わったり止まったりした場合の検出効率の低下を見積もるため、ストローと同じカプトンの板をストローチェンバーの前に配置し、その厚さを変えたときの検出効率の変化も測定した。解析は大阪大学とシカゴ大学の学生が行い、これまでのところ位置分解能として数百 μm を得、カプトン板を置かないときのストロー 1 本の検出効率はセットアップにあまり依存せず 0.962 ± 0.001 、これよりストロー 2 層 (一組) での不感率は 10^{-3} 程度である。カプトン板を置いたセットアップはデータ数が少ないが、ストロー 2 層 (一組) の不感率はカプトン板を置かないときとほぼ同じ 10^{-3} 程度が得られている。

2007 年には、トラッキング用チェンバーを 4 台に増やしてトラッキング精度を上げ、4 台ともストローチェンバーの上流に配置するようセットアップを改良し、さらに統計量も増やして精度よく検出効率測定を行う予定である。

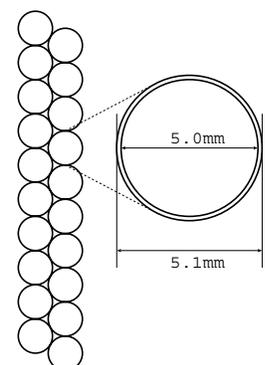


図 60: ストローチェンバー (左写真) とストローの配置及び構造 (右図)

4.4.4 Fermilab KTeV 実験

KEK E391a 実験の準備と遂行, J-Parc での実験の計画と平行して, 米国 Fermilab の KTeV 実験の解析も進めた。その成果の主なものは次の通りである。

- K_L, K_S から $\pi^+\pi^-, \pi^0\pi^0$ への崩壊の分岐比の二重比を精密測定して CP の破れのパラメータ ϵ'/ϵ が 0 から有為に離れていることを示した。これにより, $K^0 - \bar{K}^0$ 間の混合だけではなく, 中性 K 中間子の崩壊の過程そのものでも CP が破れていることが明らかとなり, 昔から提唱されていた超弱モデルを棄却した。これにより, 小林・益川の提唱した標準理論での CP の破れのメカニズムがさらに確からしいものとなった⁵。
- K_L の主な 6 つの崩壊モードについて, それぞれの分岐比を測定しなおし, 今までの多くの値が 4~8% ずれている事を示した⁶。この新しく求めた分岐比を用いて, 小林益川行列の $|V_{us}|$ の値を求めなおすと, 今までの結果とは異なり, 小林益川行列のユニタリティー性が保たれることを示した⁷。
- $K_L \rightarrow \pi^0\nu\bar{\nu}$ のニュートリノ対を e^+e^- 対に置き換えた $K_L \rightarrow \pi^0e^+e^-$ 崩壊の分岐比の上限値を更新した⁸。
- $K_L \rightarrow \pi^\pm e^\mp \nu e^+e^-$ という新たな崩壊を発見し, この崩壊分岐比を求めるとともに, その構造がカイラル摂動論の高次の計算と一致することを示した⁹。

A04 まとめ

以上述べたように, 特定領域の計画研究の費用を用いて KEK E391a 実験の建設を行い, データを収集し, その一部のデータについて, まず論文発表を行った。また, J-Parc での実験のための検討と試験を進めて実験計画書を作り, Stage 1 approval を得た。このように, 当初の本計画研究の目的を果たすことができた。

⁵”Measurements of Direct CP Violation, CPT Symmetry, and Other Parameters in the Neutral Kaon System”, A.Alavi-Harati *et al.*, Phys. Rev. **D67**, 012005 (2003).

⁶”Measurements of K_L Branching Fractions and the CP Violation Parameter $|\eta_\pm|$ ”, T. Alexopoulos *et al.*, Phys. Rev. **D 70**, 092006 (2004).

⁷”A Determination of the Cabibbo-Kobayashi-Maskawa Parameter $|V_{us}|$ Using K_L Decays”, T. Alexopoulos *et al.*, Phys. Rev. Lett. **93**, 181802 (2004).

⁸”Search for the Rare Decay $K_L \rightarrow \pi^0e^+e^-$ ”, A.Alavi-Harati *et al.*, Phys. Rev. Lett. **93**, 021805 (2004).

⁹”Study of the Decay $K_L \rightarrow \pi^\pm e^\mp \nu e^+e^-$ to Probe the Semileptonic K-pi Structure”, 小寺克茂 博士論文, 大阪大学 (2006).

4.4.5 主要論文

- "New limit on the $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ decay rate", J. K. Ahn, T. Inagaki, G.Y.Lim, T.Sato, Y.Sugaya, Y.Tajima, M. Yamaga, T. Yamanaka, *et al.*, Phys. Rev. D 74, 051105(R) (2006)..
- "Development of a new photomultiplier with high sensitivity for a wavelength shifter fiber readout.", M. Itaya, T. Inagaki, G.Y.Lim, *et al.*, Nucl. Instr. and Meth. A 522 (2004) 477-486.
- "Undoped CsI calorimeter for the $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ experiment at KEK-PS", M. Doroshenko, T. Inagaki, G.Y.Lim, T.Sato, Y.Sugaya, Y.Tajima, M.Yamaga, T. Yamanaka *et al.*, Nucl. Instr. and Meth. A 545 (2005) 278-295.
- "Neutral beam line to study $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ decay at the KEK 12-GeV proton Synchrotron", H. Watanabe, T. Inagaki, G.Y.Lim, T.Sato, Y.Sugaya, Y.Tajima, M. Yamaga, T. Yamanaka *et al.*, Nucl. Instr. and Meth. A 545 (2005) 542-553.
- "A Determination of the Cabibbo-Kobayashi-Maskawa Parameter $|V_{us}|$ Using K_L Decays", T. Alexopoulos, T. Yamanaka *et al.*, Phys. Rev. Lett. 93, 181802 (2004).

主要論文

4.5 A05 荷電及び中性 K 中間子の稀崩壊の精密測定

計画研究「荷電及び中性 K 中間子の稀崩壊の精密測定」では、荷電 K 中間子と中性 K 中間子の稀崩壊研究を通して K 中間子崩壊に係わる問題を統一的に理解することをめざして国内外での実験実施と次期実験のための開発研究を行なった。K 中間子の崩壊現象は、C P 保存則の破れが初めて見つかったことで歴史的によく知られているが、近年になって、小林・益川の標準理論が预言する通り B 中間子の崩壊現象にも C P 保存則の大きな破れが観測された。このように標準理論は大枠では多種の実験事実を矛盾なく説明できることを示しており、大成功を収めている。次の段階として、小林・益川の標準理論が预言するように B 中間子崩壊と K 中間子崩壊を共に矛盾無く完全に説明できるかどうかを確認することが必要となる。もし標準理論が、あるレベルで破れている場合や、未知の効果が存在する場合には、K 中間子と B 中間子の崩壊現象が、標準理論の预言と矛盾することになる。したがって本研究は K 中間子稀崩壊の研究を、B 中間子系とは独立に高精度で測定して、フレーバー物理の精密実験の面から、質量起源や超対称性粒子に関連した情報を得ようとするものである。

4.5.1 荷電 K 中間子稀崩壊の精密測定

本計画研究の中の“荷電 K 中間子稀崩壊”の研究では、大量の K^+ 中間子崩壊の中から稀崩壊現象を検出するために、米国ブルックヘブン国立研究所 (BNL) の AG S 陽子加速器で生成した世界最高強度の高純度・低エネルギー K^+ 中間子ビームを静止崩壊させて実験を行なった。この研究は、日本をはじめアメリカ、カナダ、ロシアの 17 研究機関の国際協力により、E 7 8 7 密閉型高感度実験装置および E 9 4 9 改良型実験装置を用いて行なわれた (図 61)。



図 61: BNL における E949 実験装置組立風景

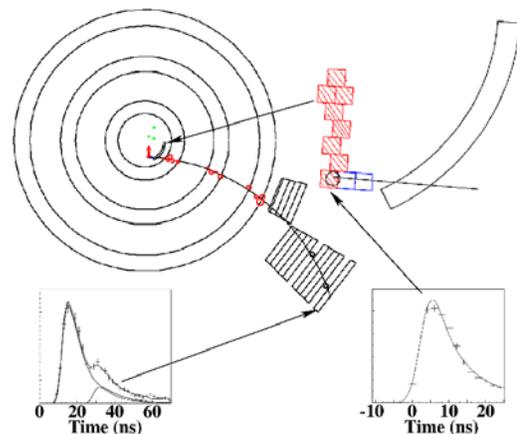


図 62: 2002 年に論文発表された 2 番目の $K^+ \rightarrow \pi^+ l^+ \bar{\nu}_l$ 崩壊事象

本計画研究では 研究分担者の KEK・京大グループを中心として阪大/RCNP/福井大/防衛大グループとの協力の下に海外共同研究機関と互いに連携を取りながら、実験で得られたデータの物理解析研究を進めた。

この研究の中心課題となる $K^+ \rightarrow \pi^+ l^+ \bar{\nu}_l$ 崩壊反応は主にトップクォークが関与する弱い相互作用に

より非常に稀に引起されるが、他のメカニズムで同様な崩壊は禁止されるので、トップクォークの寄与 ($|V_{td}|$) をきれいに取り出せる理想的な崩壊モードと考えられている。しかしながらこの崩壊モードは非常に稀にしか起こらない難しい実験なので、1970年頃から世界各地で継続的に行なわれたこの探索実験は、我々の共同研究グループによる1997年の事象発見までに多くの年月を必要とした。本計画研究では、E787実験で収集した残りの大量のデータを慎重に解析した結果、新たにもう一つの(2番目の) $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ 崩壊事象(図62)を発見することに成功し、解析結果を2002年Physical Review Lettersに論文として発表した。さらに、実験装置改良後のE949実験のデータ収集は、2002年に12週間にわたってBNL・AGSで行われ、 1.8×10^{12} の荷電K中間子崩壊事象データを収集した。このデータを用いた物理解析の結果、2004年に第3番目の事象を発見し、Physical Review Lettersに論文として研究成果を発表した。

これまでに得られた信号事象と雑音事象の様子は図63に示されている。図の縦軸はK中間子から崩壊して出てくる荷電粒子(π^+ , μ^+ など)の飛程(プラスチックシンチレータ換算)で、横軸はその運動エネルギーである。図中の四角い箱は $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ の信号領域を示し、この中に3個の崩壊事象が含まれている。小さい点はモンテカルロ計算で推定した信号事象の予想分布を示している。信号領域の左下の三角印と丸印の事象点は検出器の測定をすり抜けてきた雑音事象($K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$ 事象)と考えられる。

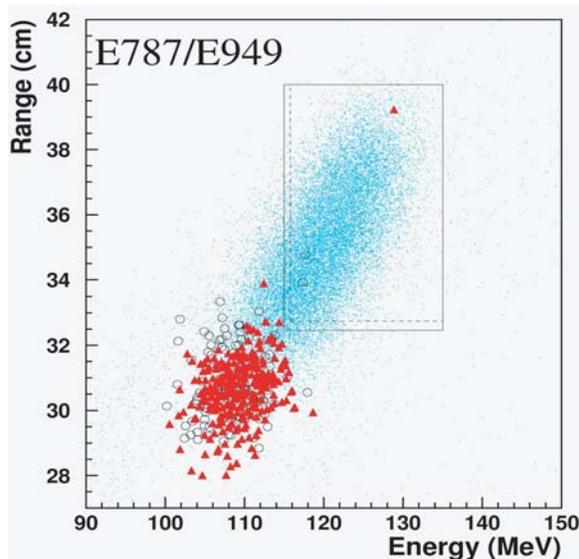


図 63: K^+ 崩壊で発生した π^+ のレンジと運動エネルギーの相関。丸印(E787), 三角印(E949), 点($K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ のモンテカルロ法による予想分布)。実線(破線)はE949(E787)の $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ 信号領域。

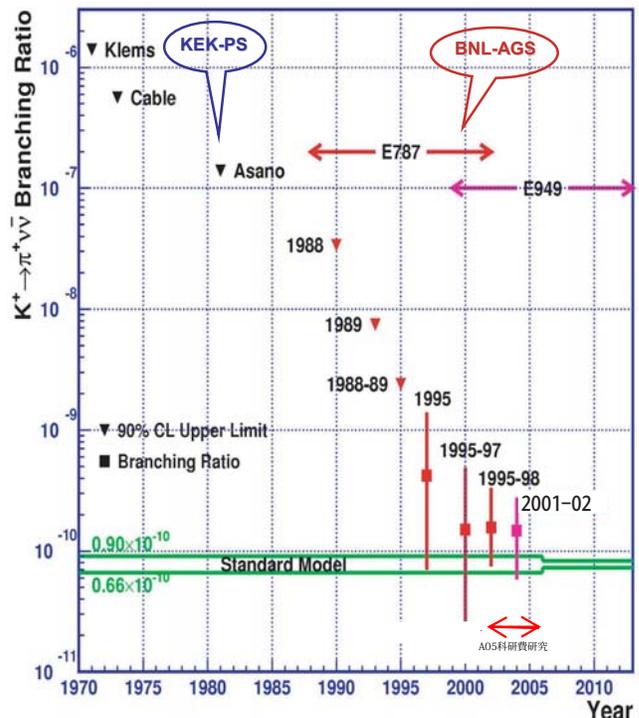


図 64: $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ 探索の歴史

これまで長年にわたって行われてきた $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ 実験の到達検出感度(崩壊比上限値)の向上の歴史が図64に示されている。1981年にKEKのPS加速器でE10実験が当時の最新技術を駆使して上限値を 10^{-7} のレベルまで向上させることに成功してKEK-PSでの代表的な成果の一つとなつてから16年間を経て1997年の初事象発見に至り、2002年の2番目、2004年の3番目の事象の発見論文発表となった。図中の標準理論の2本線は、理論予測精度を示すものである。我々が発見

した3事象に対し、各事象の確率を考慮した likelihood 法を用いることにより、 $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ の崩壊比 $B(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) = (1.47_{-0.89}^{+1.30}) \times 10^{-10}$ を得た。これらの解析結果の詳細は2004年に論文として Phys. Rev. Lett. に発表された。この3個の信号事象だけでは、まだ統計量が少ないので確定的なことは言えないが、この実験結果は誤差の許容範囲を考慮すれば、標準理論の予言と矛盾はしない。しかしながら今回の実験で得られた崩壊比の中心値は、標準理論の予測する範囲から上へずれており、今後の精密測定で統計量を上げて依然としてこの“ずれ”が残る場合には、新しい物理が存在することを示す有力な証拠となる可能性がある。

E949 実験は、アメリカ側の予算削減の事情で実験中断を余儀なくされたが、2006年9月現在、残された実験データの物理解析を日米加露中の5カ国協力研究として続行中である。また今後この実験研究を、CERN (K^+ 中間子飛行崩壊実験) および J-PARC (K^+ 中間子静止崩壊実験) での将来の国際共同実験計画として引き継ぐべく日米欧の関係者により真剣な検討が行なわれている。

上記の $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ の解析 (pnn1 領域) の他に、 π^+ 運動量領域 $140 < P < 195$ (MeV/c) (pnn2 領域) での $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ 探索も E787 実験データを用いて行なわれた。 $K_{\pi 2}$ 以下の測定領域は、大きな phase space を持つので有望な測定領域であるが、この領域での $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ 崩壊事象の探索は、 $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$ に起因する雑音事象の除去や、 K^+ 静止ターゲット中での K 中間子および崩壊した π^+ や π^0 を如何に感度を上げて正確に分離できるかが成功への鍵となっている。本研究で行なわれた解析の積み上げと測定技術の向上により、pnn2 領域での $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ 探索は着実な進展を見せており、2004年には従来より低い上限値を得ることに成功し、論文として成果を発表した。この pnn2 領域の測定は $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ 静止崩壊測定の事象検出感度を飛躍的に向上させるためには必要不可欠なものであり、現在引続き E949 実験データを用いた pnn2 領域での $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ 探索の物理解析を実施中である。

角運動量保存則を破るエキゾチック過程 $K^+ \rightarrow \pi^+ \gamma$ 崩壊事象の探索は E787 実験データを用いて行なわれ、これまでの上限値 1.4×10^{-6} (90% C.L.) を約4倍向上させて 3.6×10^{-7} (90% C.L.) の結果を得た。この実験成果は2002年に Phys. Rev. D に論文として発表された。

もう一つのエキゾチック過程 $\pi^0 \rightarrow \nu \bar{\nu}$ の解析は E949 実験データを用いて行なわれた。もしニュートリノが純粋な左巻き粒子であれば角運動量保存則によりこの崩壊過程は禁止される。しかしながら、ニュートリノの質量が π^0 の質量の半分より軽くて、 Z^0 と標準理論での弱い相互作用の力で couple する場合、理論的な $\pi^0 \rightarrow \nu \bar{\nu}$ の崩壊比は Dirac-neutrino type に対して $Br(\pi^0 \rightarrow \nu \bar{\nu}) = 3 \times 10^{-8} (m_\nu/m_{\pi^0})^2 \times \sqrt{1 - 4(m_\nu/m_{\pi^0})^2}$ として与えられる。また、massive Majorana neutrinos の場合には factor 2 大きくなることが予想される。この探索実験は同時に $\pi^0 \rightarrow$ “nothing” という形の崩壊にも検出能力を持つものである。 $\pi^0 \rightarrow \nu \bar{\nu}$ のデータ解析は E949 実験で得られた 1.8×10^{12} の静止 K^+ のデータ・サンプルを用いて行なわれた。 $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ のトリガーで得られたデータの中から「 $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$ ($K_{\pi 2}$) 崩壊であると kinematic に確認されたサンプル」に対して解析が行なわれた。すなわち、 $K_{\pi 2}$ からの monochromatic π^+ を 10^{-9} の impurity 混入純度で選ぶことによって 3.0×10^9 の π^0 を選別収集した後、 $\pi^0 \rightarrow \nu \bar{\nu}$ の探索を行なった。その結果、従来に対して3倍の改善となる $Br(\pi^0 \rightarrow \nu \bar{\nu}) < 2.7 \times 10^{-7}$ (90% confidence level) の新しい upper limit を得て、2005年に論文発表した。

さらに、カイラル摂動論(低エネルギーでのハドロニック相互作用への有効場アプローチ)から興味のある $K^+ \rightarrow \pi^+\gamma\gamma$ や $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^0\gamma$ と $K^+ \rightarrow \pi^0\mu^+\nu\gamma$ の物理解析を行なった。カイラル摂動論において、 $K^+ \rightarrow \pi^+\gamma\gamma$ またはその neutral counterpart $K_L^0 \rightarrow \pi^0\gamma\gamma$ への (p^2) (“tree-level”) contribution は無く、その leading contribution は (p^4) から始まる。 (p^4) における $K^+ \rightarrow \pi^+\gamma\gamma$ の崩壊比と π^+ スペクトラムの形は、未確定の coupling-constant \hat{c} の値に強く影響される。また、next-to-leading order, $O(p^6)$ での完全な計算はまだなされていない現状であり、 $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-$ の崩壊振幅への empirical fit から得られる one-loop “unitarity” correction の効果が支配的と考えられている。 $K^+ \rightarrow \pi^+\gamma\gamma$ への unitarity correction を施した場合には π^+ の運動量の上限値 $P = 227\text{MeV}/c$ に近い領域で non-zero amplitude を持つことになる。このような unitarity correction に敏感な領域で $K^+ \rightarrow \pi^+\gamma\gamma$ 崩壊を捕らえるために、新しいトリガー回路が E949 実験に設置され、 π^+ 運動量の上限値近傍の領域で探索が行なわれた。2002年のE949ラン中に 1.16×10^{12} の静止 K^+ 事象が $K^+ \rightarrow \pi^+\gamma\gamma$ 物理のために収集され、それらを解析した結果、探索領域に $K^+ \rightarrow \pi^+\gamma\gamma$ 事象は検出されなかった。この結果からは unitarity correction を完全には排除できないが、低い上限値 $Br(K^+ \rightarrow \pi^+\gamma\gamma, P > 213\text{MeV}/c) < 8.3 \times 10^{-9}$ (90% confidence-level upper limit) の値が得られた。また同時に、この解析から $K^+ \rightarrow \pi^+\gamma$ の崩壊分岐比の上限値 2.3×10^{-9} (90% confidence level) も得ることができ、2002年に我々が得た以前の上限値を150倍以上引き下げた。一方、 $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^0\gamma$ の更なる解析と $K^+ \rightarrow \pi^0\mu^+\nu\gamma$ の解析は E787 実験データを用いて行なわれ、現在雑誌投稿論文を作成中である。

これらのデータ解析によって判明した検出器中での崩壊事象の詳細な振舞いを理解した上で、稀崩壊現象の検出能力を更に向上させるため、次の4項目の測定器開発研究を行なった。

4.5.2 入射K中間子の識別と静止点決定のためのシリコンストリップ検出器(SSD)の開発

(KEK・福井大・浜松ホトニクス共同研究)

SSDは静止標的の直前に設置され、入射 K^+ 中間子の進行方向への静止距離予測、入射位置測定、入射粒子選別、同時に入射した他粒子の存否などを調べることを目的としている。このため、円柱形の静止標的の前面を覆う円形・大面積 SSDが必要となる。また、稀崩壊現象を捕らえるために密閉型検出器(通過粒子に対してあらゆる空間で最高の検出感度を維持できるよう不感領域を可能な限り排除し、かつ重い物質を部品として使用しない配慮が必要)の中でこの SSDは使用される。上記の要請に応えるため、SSDのシリコンウェハーの形状を、外径105mmの円に内接する正16角形とし、これを支えるG10基盤の外径を146mmとした。さらにプリアンプ設置に必要な「場所、物質、質量、導入電線、冷却装置など」を、密閉型検出器の中心部分から排除して外部に置くことが望まれる。開発研究で使用した SSDは読み出しピッチ $805\ \mu\text{m}$ 、シリコンウェハー厚さ $410\ \mu\text{m}$ で、読み出しチャンネル数は128である。この SSD 2枚を90度ずらして重ね、XYの位置測定と dE/dX 測定を行なう。また SSDとプリアンプ間のフラットケーブルは、実験装置の条件(2mの長さ)に対応するケーブルを使用した(図65)。一方、SSDに用いる読み出し回路系にも稀崩壊検出実験固有の要請、すなわち、ストリップ読み出し位置精度は0.8mm程度でよいが、「アナログ信号を不感時間なく連続的にプリアンプ、シェイピングア

ンプから出すこと」、「読み出しチャンネルあたり 120 kHz 程度までアナログ信号の劣化が起こらないこと」があげられる。開発は実験室での基礎開発と、雑音環境など実際の実験状態に近い KEK-PS で π および陽子ビームを用いて行なわれ、所期の目標の「低い雑音レベルの達成」、「SSD の dE/dX 測定による粒子識別能力の確認」、「アンプ回路系の大強度ビームに対する対応能力の確認」、「高い検出効率の確認」に成功した。これらの成果は近日中に論文としてまとめる予定である。

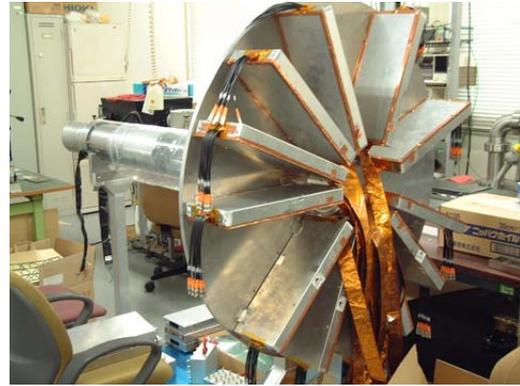
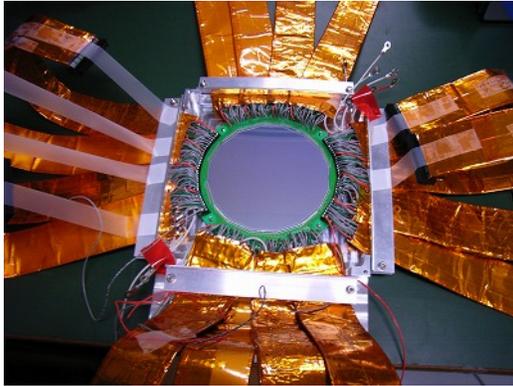


図 65: 左図は粒子識別用 16 角形 SSD にフラットケーブルを装填したところ。右図は K^+ 静止崩壊実験装置に挿入される SSD 関連部品の配置を確認するためのモックアップ。図中左端に SSD を取付け、図中右の円盤上にプリアンプを設置、中間のパイプ部分で 2 m ケーブルの導入および設置方法の検討を行なった。

4.5.3 粒子選別や雑音事象除去に用いる高速波形記憶処理回路の開発

(KEK・阪大・KEK 回路室共同研究)

信号波形を不感時間なく連続的に測定記録できるトランジェントデジタイザー (TD) は、現在では稀崩壊現象の研究において不可欠な実験装置となっている。E787 や E949 実験では BNL で開発した非常に高価な TD や、その後 TRIUMF で開発された比較的安価な CCD 技術を用いた TD を大量に (数千チャンネル) 使用している。本計画研究では、エレクトロニクスの最近の技術発展に応じて、「安定に動作する」8 bit、500 MHz の TD を「安価に」、「短い期間」で開発すると共に、TD を使用する際に大量に発生する連続したデータを分散処理によって高速に収集できる回路システムの開発を行なった。まず、TD の中心となるデジタイザーは KEK 回路室との共同開発研究として行なわれ、発熱量やコストおよび入手の容易性などを考慮してチップの選定を行なった。選ばれたチップ (8 bit、250 MHz のフラッシュ ADC) 2 個を 1 組として用いて 500 MHz の TD を作り、直線性や安定性の性能評価の後 6 U-VME モジュール (4 チャンネルアナログ信号入力) の形で試作に成功した (図 66)。この VME モジュールは、シリコンストリップ出力 128 チャンネルの実地運転テストで所期の性能が確認された。次に、この TD から出てくる大量のデータを処理するための回路系の開発を阪大との共同研究として行なった。大強度ビームを用いた稀崩壊実験では、不感時間なく波形を連続測定することのみならず、パイルアップした信号を分離することにより、崩壊現象の同定や雑音事象の除去をできることが要求される。大量のデータを発生する FADC を大強度ビーム実験で使用するには、いかに効率よくデータを選別し読み出すかが重要となる。本計画研究で我々が開発した FADC システムは、トリガー情報の収集



図 66: KEK 回路室との共同研究で開発された 500MHz トランジェントディジタイザの 6 U-VME モジュール。

選別を行うとともに不感時間を生じさせない読み出し方法を取り入れたものである。

(Pipeline readout)

波形読み出しを行う FADC ではひとつの波形を読み出している間は次の事象に対し不感になってしまう。図 67 上の例では読み出し期間の終わり頃にきた事象が不感になってしまう。このような問題を解決するために、読み出し回路を複数用意することによって、オーバーラップした事象を不感時間無く読み出すことができるようにした。その結果、図 67 下の例では読み出し期間の終わり頃にきた事象は別の読み出し回路で処理されるため不感時間とならない。今回開発した FADC 読み出し回路のブロック図を図

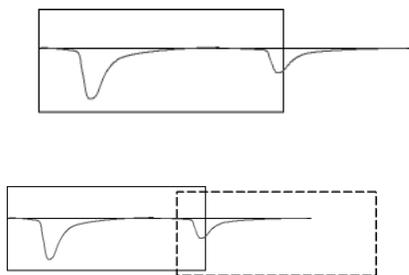


図 67: 波形読み出し中に来た次の信号のパイプライン処理

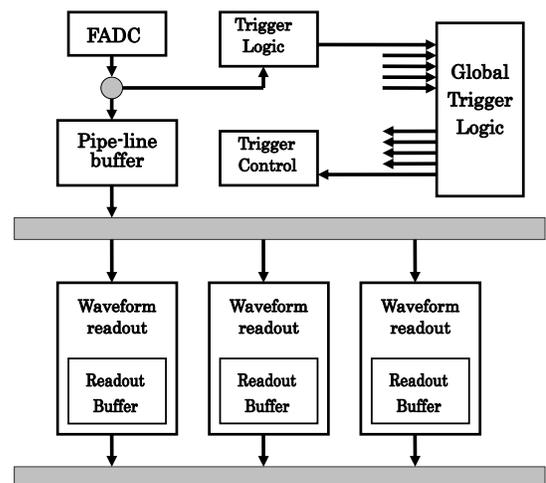


図 68: FADC 読み出し回路のブロック図

68 に示す。FADC からのデジタル信号はクロックに同期してローカルトリガー回路とパイプラインバッファに与えられる。ローカルトリガー回路は不感時間無く毎クロックに判断を行い、その結果をグローバルトリガー回路へと送る。グローバルトリガー回路はローカルトリガー回路からの信号と他の検出器の情報などを合わせて判断する。その結果は再び各々の FADC へと返される。パイプラインバッファは

グローバルトリガー回路からの結果が返ってくるタイミングとの待ち合わせに必要な長さが用意される。Default で $1 \mu\text{s}$ とするが、調整は可能である。グローバルトリガー信号を受け取ると、トリガーコントロール回路は空いている波形読み出し回路をスタートさせる。波形読み出し回路は実験の要求する読み出し方で波形を読み出し、内部の読み出しバッファに格納する。読み出し方法としては、パルスの立ち上がりを細かくとった後はサンプル間隔を長く取ることによってデータ量の圧縮を行ったり、時間情報と積分値のみにしてしまうなどが考えられる。重なった信号は、ひとつの信号を読み出ししている間も別の波形読み出し回路を使って読み出すことができる。図 68 の例では 3 つの波形読み出し回路があるので、最大 3 つの重なった波形を独立に読み出すことができる。

(Advanced TCA)

今回開発したシステムは新しいモジュール規格である Advanced TCA 規格を用いた。なお、Advanced TCA にかかわる開発は大阪大学核物理研究センターと理学研究科との共同研究で行われ、本研究ではその結果を用い FADC システムの開発を行った。詳細は IEEE-TNS に掲載予定。Advanced TCA のクレートを図 69 に示す。我々は Advanced TCA のバックプレーン規格のうち dual-star 接続によりデー



図 69: Advanced TCA crate

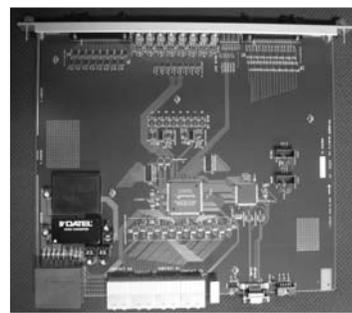


図 70: Advanced TCA trigger module

タ収集システムを構築した。Dual-star では、2 つのコントローラースロットと 12 のノードスロットの間に 1 対 1 のシリアルリンクが張られている。1 つのコントローラーはトリガーモジュール(図 70)で、各ノードと 1 対 1 の通信を行いクレート内のトリガー信号をつかさどる。もうひとつのコントローラーは読み出しモジュールで、各ノードと 1 対 1 のシリアルリンクを通じデータのやりとりを行う。データの読み出しにはシリアルデータリンクの規格である SpaceWire 規格を用いた。Advanced TCA のモジュールは 8 U のボードサイズである。電源は 2 重化された 48 V 電源を各モジュール上で変換して使う。

(Advanced TCA FADC module)

今回開発した 8 U サイズの FADC モジュールは 1 モジュールあたり 8 ch の 500 MHz FADC を搭載する。クレートあたり 12 台のノードモジュールなので、クレートあたり 96 ch となる。モジュールのブロック図を図 71 に示す。

メザニンカードは KEK で開発された 2 ch の 500 MHz FADC - FINESS E カードである。FADC モジュールはこれを 4 枚載せている。各々のカードを読み出す FPG A はルーター FPG A を

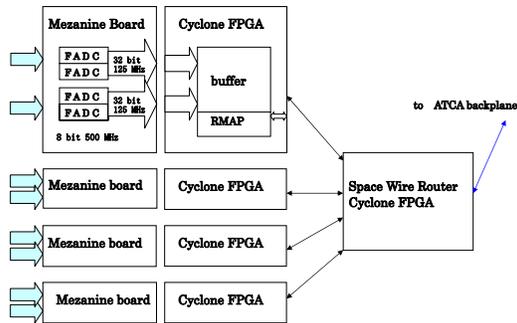
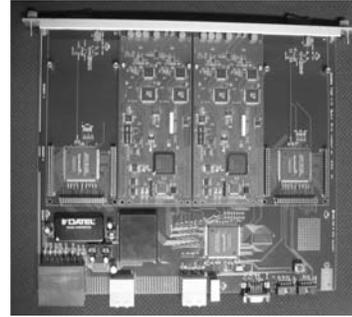


図 71: FADC 読み出し回路のブロック図

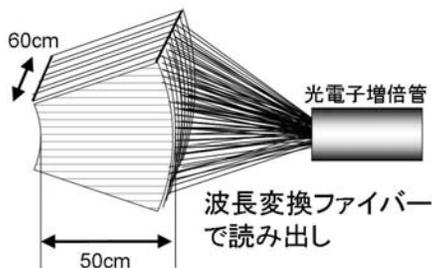
図 72: Advanced TCA 500 MHz FADC module
FADC の FINESSE カードは使用時には 4 枚実装されるが、ここでは 2 枚のみが実装表示されている。

通じてコントローラモジュールと通信を行う。図 72 に 8 U サイズの FADC モジュールを示す。

4.5.4 粒子識別のためのカロリメータ開発

(KEK・福井大・防衛大・日立化成共同研究)

静止 K^+ 崩壊実験で開発が必要とされているカロリメータとして、低エネルギーガンマ線を捕らえる検出器や、アクティブデグレーダー(入射 K^+ 中間子の運動量を落として静止させると同時に、静止した K^+ が崩壊後に発生するガンマ線を高感度で捕らえる検出器)をあげることができる。本計画研究では、静止 K^+ 崩壊実験のために無機シンチレーション結晶(GSO や PWO)の基礎開発を(KEK・福井大・日立化成等)の共同研究として行ない、数多くの研究成果を論文として発表した。たとえば、ガンマ線検出器の開発研究として行なった $PbWO_4$ 結晶シンチレータの研究では、Ce 濃度を増やすと透明度が良くなり耐放射線能力も向上して理想的なチェレンコフ物質となることを見出した。一方、 K^+ の飛行崩壊実験の場合には、実験装置が大型となるので安価で安定なガンマ線検出器が必要とされている。我々は K^+ の飛行崩壊実験用大型ガンマ線検出器(図 73)の基礎開発として、波長変換ファイバー埋込溝を持つプラスチックシンチレータ板を射出成型で安価に大量生産できるかどうか調べるための試作研究を行なった。その結果、市販のプラスチックシンチレータに機械加工で溝を切削した場合と比較して、射出成型による試作品でも光学的性能に遜色がないことを確かめた。

図 73: K^+ 飛行崩壊実験用大型化ガンマ線検出器(1 セクター)の概念図。、射出成型された大量のプラスチックシンチレータに波長変換ファイバーを挿入して発光信号を取出す。

K^+ から崩壊発生する π^+ や μ^+ の静止距離を高精度で測るレンジカウンターの開発 (KEK・福井大・防衛大共同研究)

K^+ が崩壊した後に発生する π 中間子のレンジ（静止するまでのシンチレーター中の距離）を測るレンジスタックカウンター（RS）は、大強度ビームの下で実験を行なう場合、飛来する多数の粒子のパイルアップの影響によってその検出能力が低下する恐れがある。そこで、雑音除去能力の高い測定器を開



図 74: π^+ や μ^+ の静止距離を高精度で測るレンジカウンターのプロトタイプ（全長 4.56m）。1820mm 長のプラスチック・シンチレータ 4 枚/層を 4 層積層した両端に、シンチレータ端面の半分の断面積を持つアクリル・ライトガイド（940mm 長）をそれぞれ取付けて 1 セクターとした。

発するために RS を細分化する検討を行なった。試作した改良型 RS のプロトタイプ（図 74）では長さ 1820mm、幅 50mm、厚さ 18.68mm のプラスチックシンチレータが 4 列 4 層にスタックされている。このプロトタイプによって積層方法、シンチレータの積層厚さなどの寸法精度、シンチレータ/ライトガイドや PMT の取付け方法、PMT への入射光量などの性能評価を行なった。その結果、シンチレータ 4 層の最適積み上げ後の厚さ（56 点計測後の計算）は 74.50 ± 0.27 mm を得、シンチレータとライトガイド間をエアコンタクトとした場合、両側読み出し時の片側の光量は 50 - 60 p.e./MeV となり所期の目標を達成した。

4.5.5 中性 K 中間子稀崩壊の精密測定

本計画研究のもう一つの柱である“中性 K 中間子の稀崩壊過程の研究”では、京大グループが中心となり、KEK/京都教育大グループと協力しながら次世代の $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 測定実験を念頭においた測定器開発を中心課題として進めた。この過程は現在の標準理論において CP 対称性の破れを記述する小林・益川行列の複素位相を直接的に関わっており、かつ、実験結果を理論と結びつける際の不定性が極めて小さいことと合わせて、標準理論の検証には最も適した K 中間子崩壊過程である。ここでは米国ブルックヘブン研究所の AGS 陽子加速器を用いて行なわれる国際共同実験研究、KOPIO 実験のための検出器開発を主な課題としている。KOPIO 実験は荷電 K 中間子における $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ 測定実験で得られた経験を活かしつつ新しい測定手法を組み合わせてデザインされており、分岐比感度 6×10^{-13} レベル（40 事象の観測に相当）を実現し、CP 非保存現象を記述する標準理論の検証、さらにはそれを超える新しい物理の探索をめざして計画されたものである。 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 測定実験は予想分岐比が 3×10^{-11} と非常に小さい過程の精密測定実験であることから、実験遂行上、バックグラウンド事象の排除が最も重要なポイントとなる。KOPIO 実験では、余剰粒子ヴィット検出器で崩壊領域全体を覆いつくすことに加え、光子の持つ全情

報(位置, エネルギー, 時間, 角度)を測定して π^0 を再構成すること, 一次陽子ビームに時間的構造を持たせて K_L の飛行時間(TOF), ひいては運動量を測定するというユニークな方法を採用している。図75は実験のコンセプトを示す概念図である。ブルックヘブン研究所では, レプトンの香りを保存しない稀過

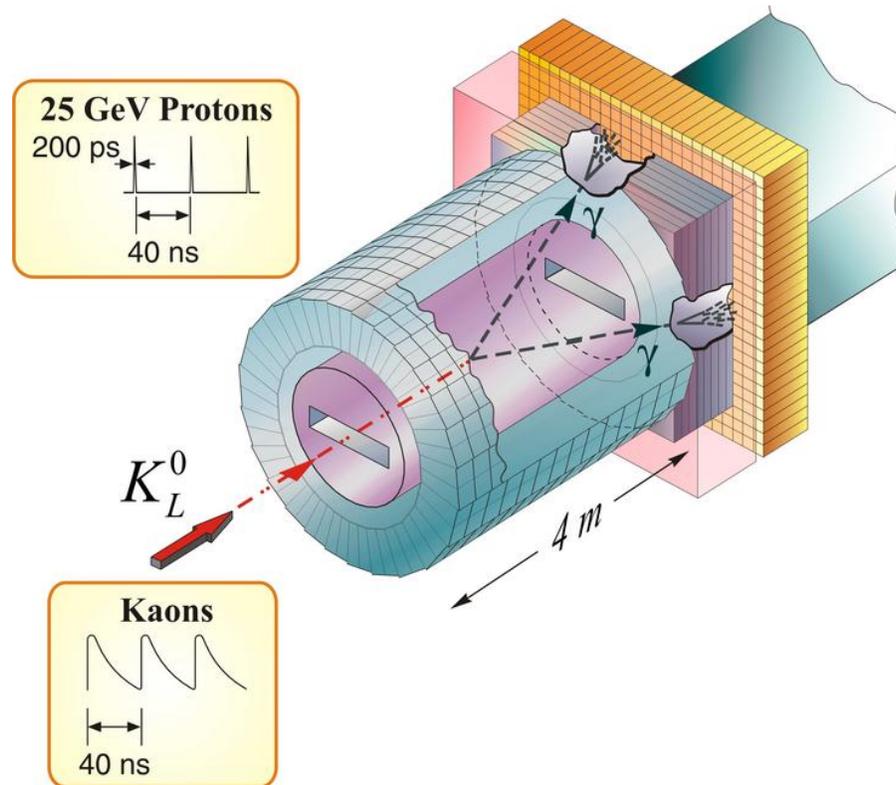


図 75: KOPIO 実験のコンセプト図

程である $\mu - e$ 転換現象の探索実験 (MECO 実験) も同時期に提案されており, これらを合わせた "Rare Symmetry Violating Processes (RSVP)" プロジェクトとして予算基盤の獲得をめざした。このプロジェクトは米国 National Science Foundation (NSF) の予算計画によって一度は採択され, 米国 2006 年度 (2005 年 10 月) より建設予算を開始する予定とされていたが, 米国の高エネルギー実験プログラムに対する方針転換のあおりを受け, 残念ながら 2005 年夏に計画中止を余儀なくされた。本計画研究での成果は, 現在, 同種の K 中間子実験 (例えば計画研究 A04 の一環である J-PARC での実験) への応用, そして高計数率, 高精度実験への汎用的な応用の両面で発展をみせている。本計画研究では $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 測定実験では必要不可欠となる中性子不感型光子検出器や荷電粒子検出器について, 原理試験および実機としての性能評価をおこなうことを重点目標としてきた。以下にいくつかの成果をまとめていく。

上で述べたようにこの実験では余剰粒子を確実にとらえることがバックグラウンド事象を排除する鍵となり, その重要性は大量の粒子にさらされる中性子通過領域においても同様である。中性子ビーム中で動作する検出器は特に中性子に対して不感でなければ十分な性能を発揮できない。我々は図 76 に示すような鉛板 (コンバータ) とエアロジェル (チェレンコフ放射体) によるチェレンコフカウンターを 1 単位とし, それを離散的に多層配置した新たなカウンターを提案してきた。開発研究はシミュレーションによる性能予測と, 段階を追った試作機の製作, およびそのビームによる性能評価を繰り返すことで進められてきた。図 77 は期待される光子に対する検出効率, および, 中性子を光子と誤って検出してしま

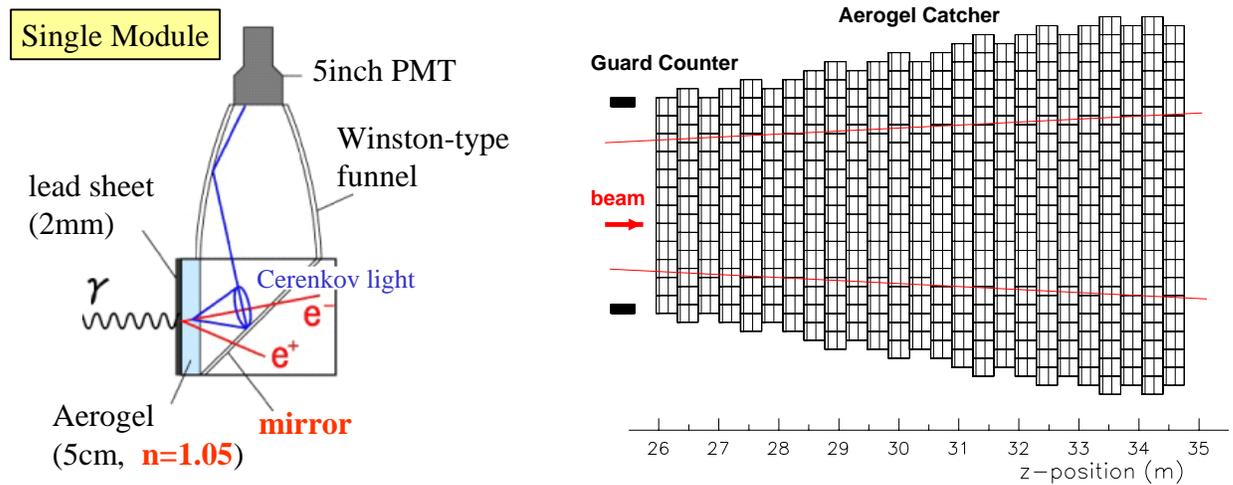


図 76: KOPIO 実験で開発をすすめた中性子不感型光子検出器の概念図。左図はモジュールの構造を、右図はそれを離散的に多層並べた平面配置図。

う確率を示している。チェレンコフ発光を利用することで光子起因の電子には感度を持つが中性子反応

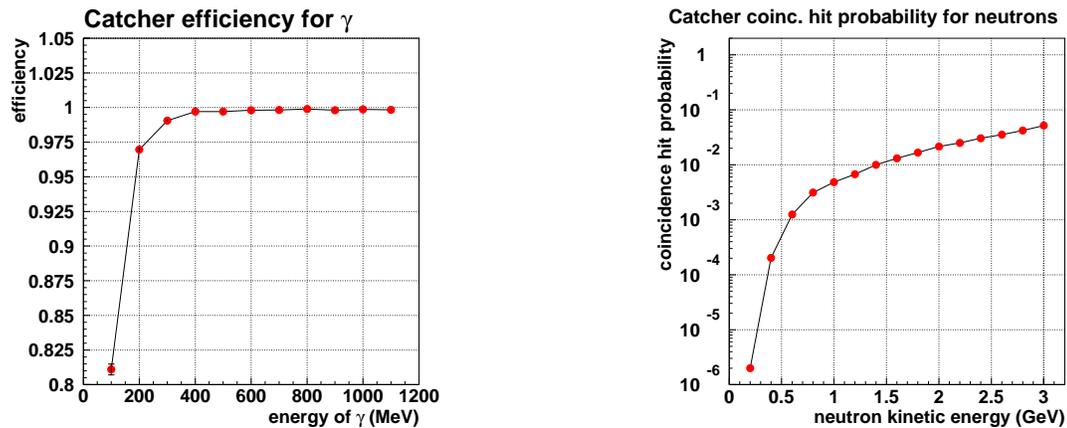


図 77: KOPIO 実験の配置によって光子検出器に期待される性能。左図は光子に対する検出効率, 右図は中性子を光子と誤って検出する確率を示す。

起源の重い粒子では発光が起こらない検出器が実現可能であることに加えて, 多層配置したモジュールについてビーム進行方向に複数層ヒットがあることを要求することで, 光子検出効率を 99%程度に保ちつつ, さらに 1 桁近く中性子に対して不感となることが期待される。このデザインに基づいて, 現在までに第一次, 第二次プロトタイプによる原理テストを遂行し, 最終的には実用サイズの第三次プロトタイプの試作と性能評価を行ってきた。図 78 に示す第二次プロトタイプでは二軸非対称パラボラ鏡を試作し, 荷電粒子ビームにより性能を確認した。

初年度の 2002 年には, 電子, 荷電パイオン, 陽子によるビーム試験を行い (図 79), 性能を評価した。特にこの検出器において重要なことは中性子 (あるいは陽子) に対するレスポンスであるが, 陽子ビーム試験の結果, 図 80 に示すようにシミュレーションによって期待される値を実現できることが確認された。これにより我々の提案した方法によれば, 実機においても中性子感度 0.1% (@1.5GeV/c) を達成できることを実証できた。このビーム試験では, 空気中のシンチレーション発光がバックグラウンドになりうることを副産物として発見した。これをきっかけに空気中でのシンチレーション発光量測定とその

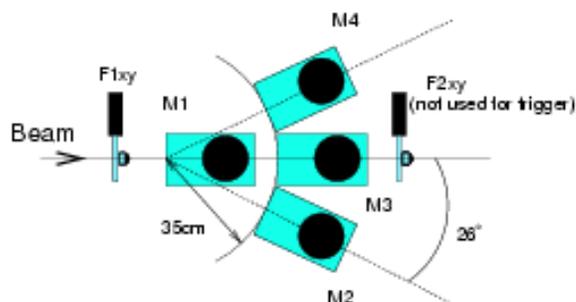
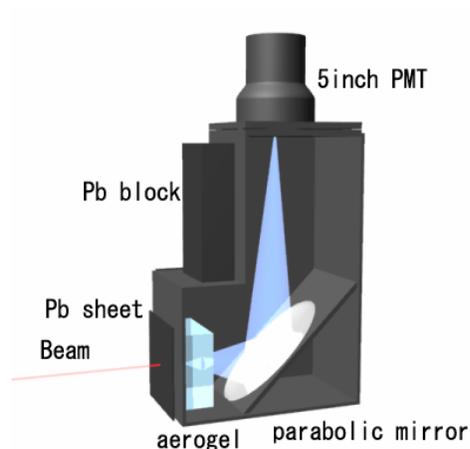


図 78: 光子検出器の第二次試験機

図 79: 第二次試験機のビームテストセットアップ

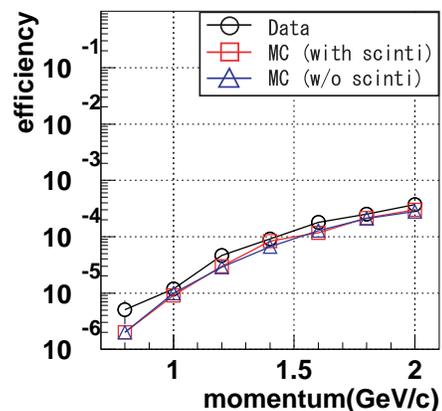
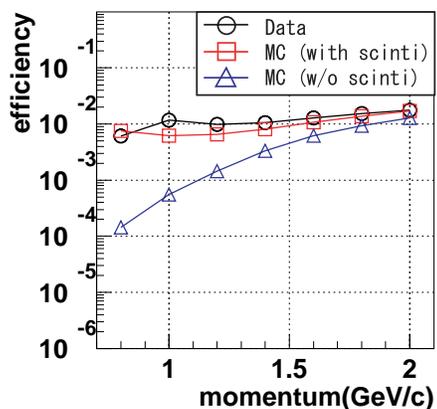


図 80: 陽子によるビーム試験の結果。左図が単一モジュールでの場合を, 右図がビームに沿ったコインシデンスを要求した場合を示す。ガスシンチレーションの効果を新たに導入したシミュレーションとよく一致していることがわかる。

抑制方法についての研究に発展し、投稿論文としてまとめた。

2003年度からは光子検出器を構成する各要素、すなわちエアロジェルタイルや鏡、Winston cone と呼ばれる集光鏡のクオリティチェックシステムの構築を開始した。光子検出器の性能評価を表す一つの量として検出されるチェレンコフ光量が挙げられる。光量をできるだけ高く保つためには、タイルの透過率、集光光学系の反射率や形状の正確性が重要となる。そのため小型のサンプルでなく実際に使う大型コンポーネントの性能を測定する装置の製作が必要とされる。図 81, 図 82 はそれぞれエアロジェルタイルの透過率測定装置、および、Winston cone の形状測定装置である。これらは光学パラメータと得られる光量の関係を理解する基礎データを提供するとともに、検出器を量産する段階での品質チェックの役割を果たす。また、迅速で簡易なチェレンコフ光量測定のために、ベータ線源とギャップ型ソレノイド磁石スペ

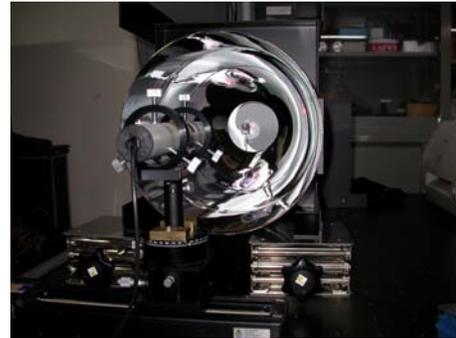
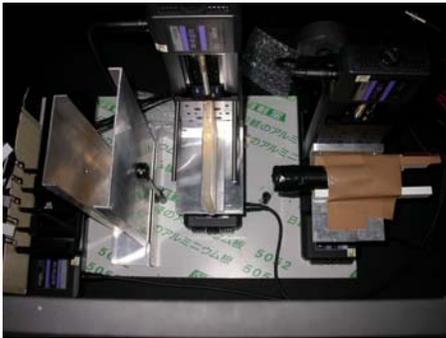


図 81: エアロジェルタイルの透過率測定装置。

図 82: 集光用 Winston Cone の形状測定装置。

クトロメータを組み合わせた「テーブルトップ電子ビーム」を考案した。チェレンコフ検出器の光量評価をする場合、通常は加速器からの荷電粒子ビームや宇宙線ミュオンを利用することが多いが、品質管理の観点で見ると、施設を利用可能な頻度が低かったり、十分なデータを収集するための時間が長すぎたりなどの欠点がある。そこで実験室で簡易に利用可能で、しかも単一のエネルギーを持つベータ線の開発を考えるに至ったものである。ベータ線の収束を最適化するために磁場解析や飛跡計算などの行った上でスペクトロメータシステムを製作した。図 83 はスペクトロメータの概念図および製作されたシステムの写真である。このシステムはベータ線源から発生する連続的なエネルギーを持つ電子を弁別し、単

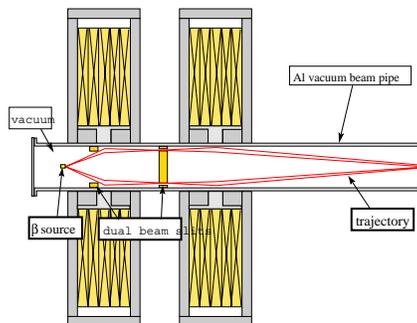


図 83: スペクトロメータセットアップ (左図) と実際のソレノイドスペクトロメータの写真 (右図)

一のエネルギーを持つ電子のみを収束して取り出すものである。図 84 はそれぞれ ^{90}Sr , ^{106}Ru を線源としたときのエネルギー分布を示している。ヒストグラムで示されるもとの線源のエネルギー分布に対し、ソレノイド磁石の電流値を調整することで 3MeV 近辺までの任意のエネルギーの電子のみを取り出すこ

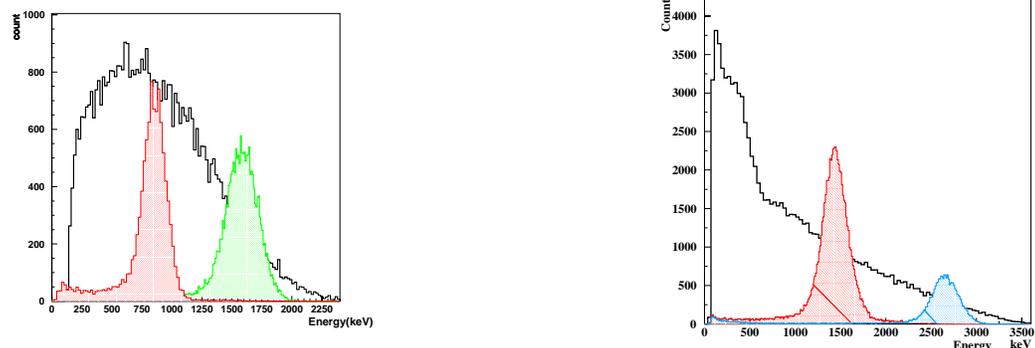


図 84: ^{90}Sr (左図), ^{106}Ru (右図)のスペクトルと収束された電子のスペクトル。縦軸は任意

とに成功している(斜線のヒストグラム)ことがわかる。通常ではエネルギー選別分解能 $\sigma=3.4\%$ (電子エネルギー 600keV), ビームスポットサイズ $\sigma=8\text{mm}$ である。また, スペクトロメータ内部のストッパー(図 83 参照)を調整することで, 収量をやや減らすもののエネルギー選別分解能を改善することができる。高分解能モードではエネルギー分解能 $\sigma=1.1\%$ (電子エネルギー 600keV), ビームスポットサイズ $\sigma=6\text{mm}$ を達成できる。このスペクトロメータ自身は非常に汎用的なもので, 検出器の試験一般に応用できるものである。図 85 はこのスペクトロメータを利用したエアロジェルタイルの評価装置とそれによる測定結果の例を示している。チェレンコフ発光は速度に依存した発光量を持つので, 電子エネル

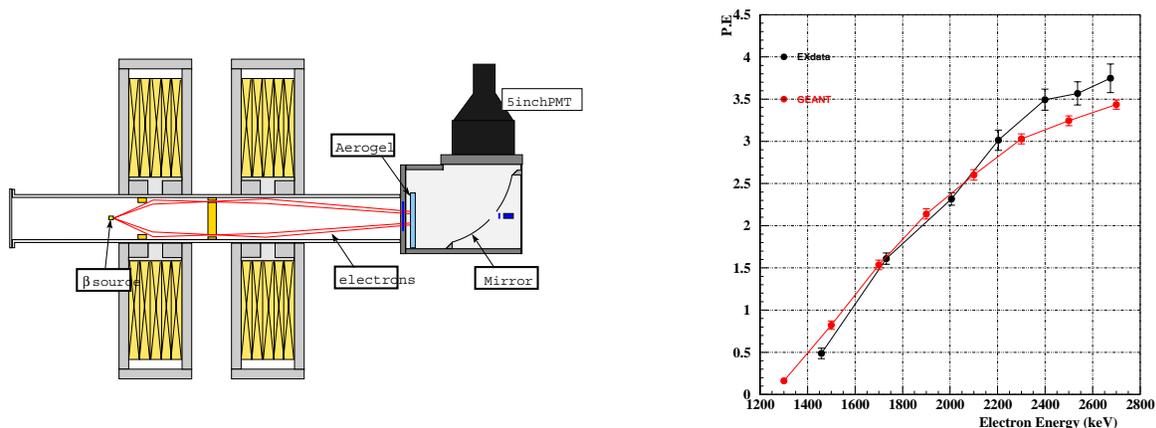


図 85: ギャップ型ソレノイドと第二次試験器を組み合わせたエアロジェルタイル評価装置(左図)と測定結果(右図)。ソレノイド電流を調整することで電子エネルギーを変化させ, チェレンコフ光量を測定している。

ギーを変更させながら光量を測定することで信頼度の高いデータを得ることが可能である。

2004 年度には実用サイズの第三次試験機の建設を行い, 2005 年度には荷電パイオンや陽子ビームを用いた性能試験をおこなった。図 86 は建設された試験機の写真で, 30cm 四方の有感領域を持ち, 平面鏡と Winston cone からなる集光系, および 5 インチ径の光電子増倍管で構成されている。ビーム試験の結果, エアロジェルタイルの透過率や端面の影響, 集光鏡の歪みなどを考慮に入れたシミュレーションによって性能をよく再現できることがわかった。これにより実用可能な光子検出器の量産が可能な段階まで到達できている。加えて, 計画研究 A04 の協力のもとに, 稼働中の中性 K 中間子実験のビームライン中に設置して動作確認もおこなった(図 87)。この環境では実際に想定しているビーム強度の 100 分の 1 程



図 86: 光子検出器の第三次試験機

度ではあるが、大量の中性子が入射された中での実際の動作の確認という点では重要な試験となる。得

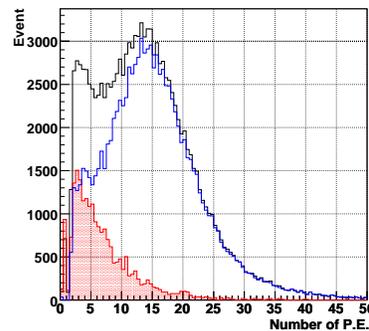


図 87: 中性ビームラインに設置された第三次試験機 (左図) と測定結果 (右図)。偶発的な事象 (ハッチ表示ヒストグラム) とシミュレーションで期待される結果 (太線) の重ねあわせとして期待通りのチェレンコフ光量分布が得られている。

られた結果は高計数率の中性ビームによる偶発的な事象とシミュレーションで期待される性能の重ねあわせとして説明ができ、このような環境下でも実際に動作が可能であることを実証できたと言える。

中性子不感型光子検出器に関しては別の原理に基づいた方法についても開発をおこなってきた。これは図 88 に示すような鉛とアクリル板のサンドイッチカウンターで、主に開発してきた検出器に対してエアロジェルタイルの代わりにアクリルをチェレンコフ放射体として採用したものである。このデザインに

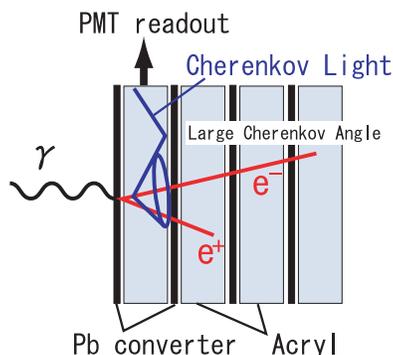


図 88: 中性子不感型光子検出器の別のデザインコンセプト。鉛とアクリルのサンドイッチカウンターで、アクリル内での発光するチェレンコフ光をとらえることで光子を検出する。

よる検出器は、安価であること、ビーム方向の長さが短くてすむこと、などのメリットがあるものの、中性子に対する感度が要求される値ほど抑制できないことがシミュレーションによってわかっている。このためビーム中に導入することはできないが、ビーム周辺領域での使用には適しており、中性ビームを扱

う実験において重要な意義を持つ。2005年には試作機を製作し、荷電粒子ビームによる基礎テストを実施した。ここでは検出光量を測定量として粒子の入射位置や入射角度に対する依存性を調べるなどの基本性能評価を行なった。その結果、シミュレーションによりよく再現できることが確認できており、現在は今後の実用化に向けてのデザインの準備が整った段階である。

荷電粒子用ヴィトカウンタの開発については、光検出器の試験、ファイバー読み出しシンチレータの最適化などを行なった。ここで開発を考えている検出器は低物質質量（すなわち薄い）であることが要求されるものであるため、検出シンチレーション光量が少ないと予想される。したがって研究の視点は、いかに光量を高く保つ検出器を製作するか、である。一つめのアプローチは量子効率の高い光電子増倍管を使うことである。浜松ホトニクス社製の GaAsP カソードを持つ光電子増倍管は通常のバイアルカリ物質を用いたカソードを持つタイプに比べ3倍程度の高い量子効率を持つことが期待される。この研究では波長毎のデータがとれる相対量子効率測定装置を構築し、通常の光電子増倍管との比較をとおして期待できる量子効率を測定したこと（図 89）を手始めに、光電面での感度の光入射位置依存性（図 90）、ゲインのカウンtrate 依存性（図 91）など、光電子増倍管の基本性能の測定を系統的におこなった。

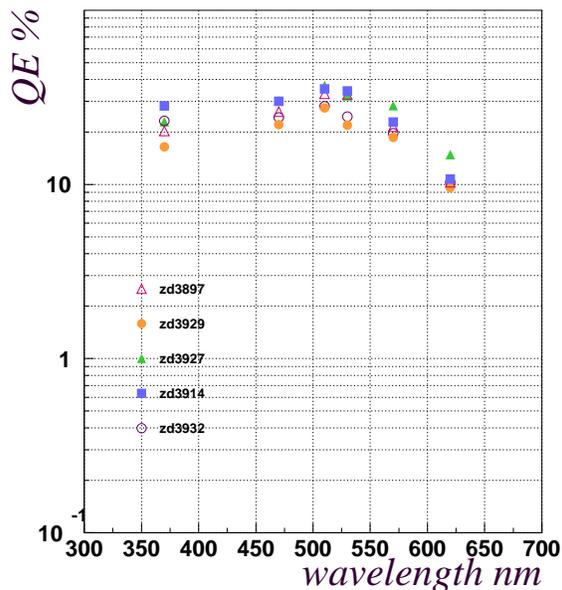


図 89: GaAsP カソードを持つ高量子効率 PMT(浜松 H7422-P40) の量子効率。通常のバイアルカリ PMT との相対量子効率を測定して算出している。6 色の LED を利用することで波長毎の測定を可能にしている。

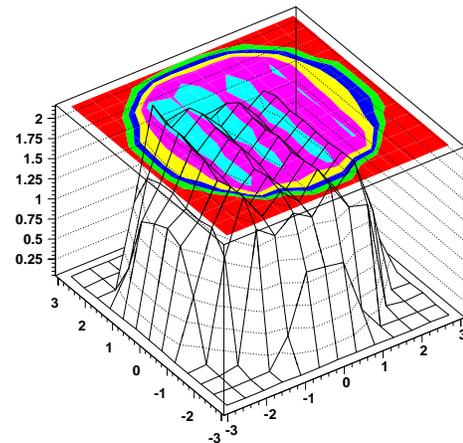


図 90: H7422 の光電面上での感度マップ。

二つ目のアプローチはシンチレータと読み出し用波長変換ファイバーの配置方法の最適化である。ここではファイバーの埋め込みピッチや本数、光学的接触面の処理方法、シンチレータ表面の反射材を変えた様々なサンプルについて系統的に光量測定をおこない、その結果を再現するようなシミュレーションの構築に結びつけた。

この他、高計数率実験には欠かせない波形記録による近接 2 パルスの弁別方法の開発なども進めており、期待される性能から、実際の実験で予想されるバックグラウンド過程の影響の評価などを進めた。

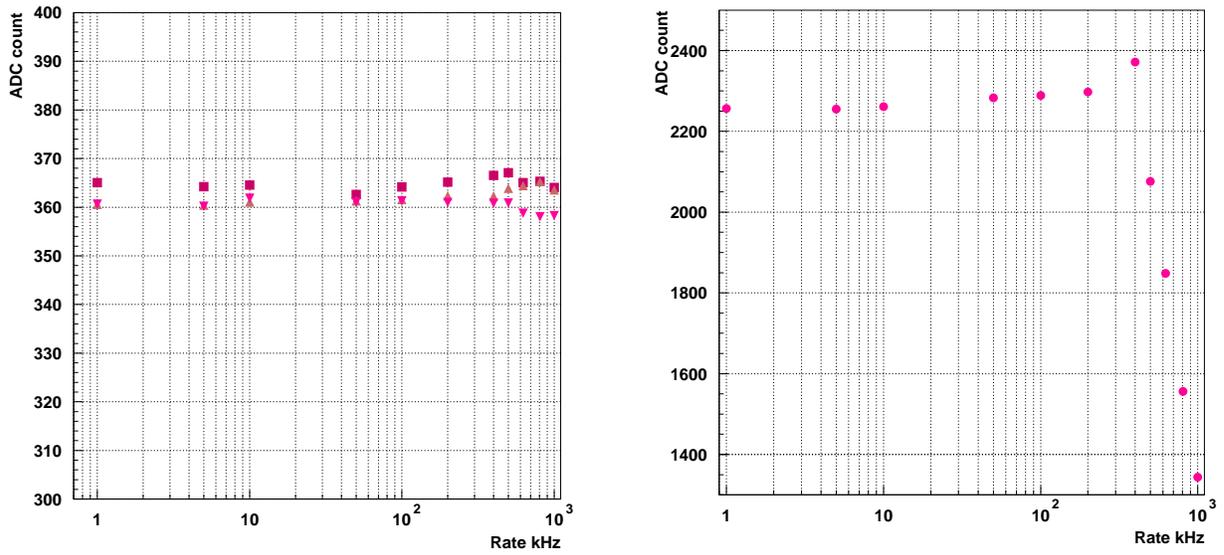


図 91: H7422 のカウントレート耐性。左は光量が 100 photoelectron (p.e.) の場合, 右は 1000p.e. の場合の結果で, 100p.e. 程度の光量であれば 1MHz にいたるまで安定であることがわかる。

4.5.6 主要論文

- “Further Evidence for the Decay $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ ”, S. Adler, M. Kobayashi, T.K. Komatsubara, S. Sugimoto, (E787 collaboration), *Phys. Rev. Lett.* **88-4** (2002) 041803 (4pages).
- “Improved Measurement of the $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ Branching Ratio”, V.V. Anisimovsky, M. Kobayashi, T.K. Komatsubara, T. Nomura, S. Sugimoto, (E949 collaboration), *Physical Review Letters* **93-3** (16 July, 2004) 031801 (4pages).
- “Search for the decay $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ in the momentum region $P_\pi < 195 MeV/c$ ”, S. Adler, M. Kobayashi, T.K. Komatsubara, S. Sugimoto, (E787 collaboration), *Physics Letters B* **537** (2002) 211-216.
- “Further search for the decay $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ in the momentum region $P_\pi < 195 MeV/c$ ”, S. Adler, M. Kobayashi, T.K. Komatsubara, S. Sugimoto(E787 collaboration), *Physical Review D* **70-3** (August 2004) 037102 (4pages).
- “Search for the rare decay $K^+ \rightarrow \pi^+ \gamma$ ”, S. Adler, M. Kobayashi, T.K. Komatsubara, S. Sugimoto, (E787 collaboration), *Phys. Rev. D* **65** (2002) 052009 (7pages).
- “Search for the decay $K^+ \rightarrow \pi^+ \gamma \gamma$ in the π^+ momentum region $P > 213 MeV/c$ ”, A.V. Artamonov, M. Kobayashi, T.K. Komatsubara, T. Nomura, S. Sugimoto(E949 collaboration), *Physics Letters B* **623** (2005) 192-199.
- “Upper limit on the branching ratio for the decay $\pi^0 \rightarrow \nu \bar{\nu}$ ”, A.V. Artamonov, M. Kobayashi, T.K. Komatsubara, T. Nomura, S. Sugimoto(E949 collaboration), *Physical Review D* **72** (2005) 091102 (4pages).
- “Upgrade of the Level-0 Trigger System for BNL-E949”, T. Yoshioka, M. Nomachi, A. Artamonov, B. Bhuyan, J. S. Frank, T. Fujiwara, K. Higa, S.H. Kettell, T. K. Komatsubara, A. Konaka, A. Kozjevnikov, A. Kushnirenko, N. Muramatsu, T. Nakano, T. Nomura, S. Petrenko, R. Poutissou, G. Redlinger, T. Sekiguchi, T. Shinkawa, S. Sugimoto, and T. Tsunemi, *IEEE Transactions on Nuclear Science* **51-3** (2004) 334-339.
- “Quenching Effects in Nitrogen Gas Scintillation”, H. Morii, K. Mizouchi, T. Nomura, N. Sasao, T. Sumida, M. Kobayashi, Y. Murayama and R. Takashima, *Nucl. Instrum. Methods in Physics Research A* **526** (2004) 399-408.

主要論文

4.6 A06 ヒッグスセクターと超対称理論ダイナミックスの現象論的研究

研究の経過と成果

「ヒッグスセクターと超対称理論ダイナミックスの現象論的研究」では、実験データから、物理の結果を引き出すのに必要な理論的解析を完了させ、質量起源と超対称性物理の追求を目指すとともに、理論研究の結果を実験にフィードバックする。具体的目標は、ヒッグスセクターおよび超対称模型に関して、そのダイナミックスの解明と宇宙論的考察、そしてその現象論的な帰結を明らかにすることであり、これによって上に挙げた最先端の加速器実験における解析方法、実験結果の解釈の指針を与えるとともに、将来に対する展望をひらくことである。

研究の進展状況とこれまでの主な研究成果

計画研究では、超対称理論を中心として、もう一つの有望な方向である余剰次元理論や、両者に関連の深いヒッグスの物理についても理論的研究を進めた。別の側面から分類すると、理論(モデル)そのものの研究、それから予測される現象として、コライダーにおける新粒子生成・崩壊過程、低エネルギーにおける希崩壊などの特徴的現象に加え、初期宇宙論とのかかわりといった多角度からの研究を行った。

重要な結果の一つとして、 B メソンの $b \rightarrow s$ 遷移による希崩壊における CP 非対称性の超対称標準模型における解析が挙げられる。KEK および SLAC の B ファクトリーにおける実験(本特定領域の計画研究は KEK B ファクトリーにおける BELLE 実験を行っている)において、この遷移による崩壊 $B \rightarrow \phi K$, $B \rightarrow \eta' K$ などの CP 非対称性が、小林・益川機構に基づく標準理論の予測と一致しないことが報告されている。この希崩壊は超対称粒子など、未知の粒子・相互作用の影響を受けやすい。本研究では、これらの非対称性の標準理論からのずれのパターンが、関与する超対称粒子のカイラリティによって変化することを見出した。実験ではベクトルメソン (ϕ) と擬スカラーメソン (η') への崩壊が同一方向にずれているが、これは左巻きのスカラークォークの質量混合から期待されるのと同じである。一方、右巻きのスカラークォークの混合が効いている場合には、逆方向のずれが予想される。

以下、これ以外の種々の研究成果についてまとめる。

4.6.1 超対称理論

超対称性をもつ模型の構成と諸問題

超対称理論は、標準模型に内包する質量スケールの問題を解決する理論として最も有望視されているものである。この超対称性の破れに伴って超対称粒子の質量が現れるが、これが2つの問題を引き起こすことがよく知られている。一つは、超対称粒子の質量項が標準模型にはなかった新たな CP 位相をもたらすことで、もしこの位相が $O(1)$ であると、超対称粒子の質量が電弱スケールに比べて非常に大きくない限り超対称粒子からの寄与が電子や中性子などの電気双極子モーメントの実験からくる上限値を大きく上回ってしまう。これは「超対称性における CP の問題」と呼ばれる。もう一つの問題は、クォークやレプトンの超対称対の質量項が標準模型にはなかったフレーバーの混合を引き起こすことである。この場合、一般にはクォークセクターでよく知られている GIM 機構による抑制が働かないため、実験の

制限を超える中性 K 中間子の混合, ミュー粒子のレプトンフレーバー対称性を破る稀崩壊などが起こってしまう。これを「超対称性におけるフレーバーの問題」と呼ぶ。超対称理論のこれら 2 つの問題について, 新たな解決の機構の探求とその現象論的帰結について研究を行った。

「CP の問題」: CP 位相を持ちうる質量項のうち (共通な) ゲージノの質量のみが現れ, 3 点のスカラ相互作用 (いわゆる A 項) や 2 つのヒッグススカラの質量混合項 (B 項) がゼロになるような超対称性の破れの伝播機構においては, ゲージノ質量の位相は物理的な CP 位相とはならないことが知られている。この場合の電弱スケールでの超対称粒子の質量スペクトルや電弱ゲージ対称性の自発的破れ, ヒッグス粒子の質量などについて調べ, この「CP の問題」の解が, 実験に抵触することなく生きていることを示した。引き続き, このパターンがダイナミカルに実現する可能性を調べ, それが実現されるモデルを提唱した。

「フレーバーの問題」: この問題の一つの解の方向は, 何からのフレーバー対称性が, フェルミオンの質量行列の構造とその超対称パートナーであるスフェルミオンの質量行列の構造を同時にコントロールするために, 二つの行列に現れる世代間混合が (近似的に) 揃い, フレーバーの混合が抑制されるとする仮説である。しかしながら, 実際にこの仮説が機能するモデルを構成することは容易ではなかった。本研究では, 対称群をフレーバー対称性とするような模型において, スフェルミオンの質量も実験に抵触しない程度に, フレーバー混合が抑制されることを示した。また, この模型の現象論的特徴を調べ, スレプトンの質量のパターンや将来のミュオン希崩壊実験において, ミニマル超重力理論とは異なる特徴が現れることを示した。

さらに, 超対称標準模型にベクトル的な物質場を加えた場合を調べ, くりこみ群の効果により, スフェルミオンがゲージノに比べて重くなり, 軽い中性ヒッグス粒子の質量も大きくなることを見いだした。

また, 超重力模型において, 相互作用の CP 不変性を破る位相が, 輻射補正を通じて生成される可能性をくりこみ群の解析に基づいて調べ, 将来の実験による検証が可能であることを示した。

トップクォークの質量が例外的に大きいことの起源として, 運動項の大きさが小さいために, 湯川結合の有効値が大きくなるという機構を提案した。これは S_3 対称性を持つ民主的質量行列を用いるもので, クォークの質量と混合角をうまく説明することができる。

超対称標準模型と高エネルギー実験

上で述べた B メソンの希崩壊の CP 非対称性に関する研究の他には, 超対称標準模型における素粒子現象の研究として以下の結果を得た。

トップクォークの超対称パートナー \tilde{t} は, トップ湯川結合が大きいため, 他のスカラクォークと異なる性質を示す。崩壊においては, フレーバーを変える中性カレント (FCNC) 相互作用により, $\tilde{t} \rightarrow c\tilde{\chi}^0$ という崩壊モードが生ずる。このモードの測定は超対称標準模型の基礎定数の決定に重要であるが, 通常の荷電カレントによる崩壊 $\tilde{t} \rightarrow b\tilde{\chi}^+$ がエネルギー的に許される場合は, この崩壊が主要崩壊モードになると期待される。テバトロンコライダーおよび将来の LHC, ILC における実験で, 対生成された \tilde{t} の片方が上の FCNC による崩壊をし, 他方が荷電カレントによる崩壊をする場合について, その観測可

能性を評価した。テバトロンコライダーにおいては容易でないが、LHC, ILC の実験では高精度で観測可能な場合があることを見出した。

また、スカラートップ・スカラーチャーム間のフレーバー混合に対する、現存の実験データからの制限を調べた。重要なデータとしては、スカラークォークの質量の直接の制限の他に、ヒッグス粒子の質量の下限、電弱精密測定、 B_s メソンの混合、 $b \rightarrow s\gamma$ 崩壊分岐比が挙げられる。左巻きの \tilde{c}_L の混合に対して、これらのデータによってかなり厳しい制約がついていることを見出された。

さらに、スカラークォークのフレーバー混合に対する制限として、新たに水銀の電気双極子の実験からの制限を考え、もし CP 不変性を破る位相が特に抑制されていなければ、フレーバー混合が十分の一の程度に抑えられている必要があることがわかった。

超対称理論における高次効果

超対称標準模型は、しっかり定義された理論であり、理論の基礎定数が決まれば、種々の物理量を摂動展開によって精密に計算することができる。一方で、非常に多くの粒子が存在し、超対称性のソフトな破れを含んでいるため、摂動展開の高次の計算に必要なくりこみはきわめて複雑なものとなっている。将来の加速器実験、とくにリニアコライダーでは、精度のよい物理量の決定が可能であると考えられるため、この高次効果を正しく評価することが重要である。また、摂動の高次であっても、数値的に大きな効果をもたらす場合があることは、超対称標準模型におけるヒッグス粒子の質量への補正をはじめとして知られており、高次計算の重要性を高めている。本計画研究で行われたこのテーマの研究成果を以下に列挙する。

超対称模型には多くの未知のスカラー粒子が含まれる。スカラー粒子の自己エネルギーは一般にゲージ依存性を持つが、混合角のくりこみなどのため、このゲージ依存性を除去すると都合が良いことがある。標準模型のゲージ粒子については、ピンチ技法という操作を用いて、自己エネルギーや3点関数のゲージ依存性を系統的に除去できることが知られている。そこで、この研究では、超対称模型のスカラー場の自己エネルギーに対して、ゲージ依存性をピンチ技法によって除去する手法についての分析を行った。その際、標準模型では現れなかった、ピンチ技法に関する新たな不定性と、その解決策についても論じた。

B 中間子が、チャーム量子数を持たないハドロンと光子に崩壊する反応 $B \rightarrow X_s\gamma$, $B \rightarrow X_d\gamma$ は、標準模型では強く抑制されているために、未知の物理からの寄与に敏感である。超対称標準模型では、荷電ヒッグス粒子やチャージノといった未知粒子を含む1ループグラフの寄与が一般に大きくなり、この崩壊の分岐比の測定結果から、未知粒子の質量に対して厳しい条件がつく。

しかし近年、理論のパラメーターのある領域では、この崩壊に対する2ループグラフの寄与が1ループと同様の大きさになり、その結果、未知粒子の質量に対する条件が大きく変更されることが指摘された。そこで、荷電ヒッグス粒子の寄与に対する2ループグラフの補正を、従来で使われていた近似よりも正確に計算し、そのふるまいを調べた。その結果、超対称粒子の質量が比較的軽い場合には、従来の近似と正確な計算とのずれは無視できなくなることが示された。

超対称標準模型が予言する新粒子のうち、チャージノの相互作用は、理論のパラメーターを決定し、そこから統一理論を検証する際に非常に重要である。チャージノとヒッグス粒子の結合の強さに対する、1ループの量子補正を全て計算した。その結果、量子補正の大きさは10%程度となることがわかった。また過去には、クォークおよびスクォークのループからの寄与が計算されていたが、そこで入っていなかった粒子からの寄与も、前者と同程度に効くことがわかった。

将来の加速器実験では、超対称粒子が大量に生成され、それらの質量が高い精度で測定されることが期待される。それらの測定値から、超対称性をソフトに破るパラメーターの値を求める際に、場合によっては1ループを越えた量子補正が必要となることが予想される。そこで、その一例として、グルイーノの物理的質量とランニング質量の差を、SUSY QCDの2ループの次数で計算した。トップクォークの質量がグルイーノやスクォークの質量と比べて無視できる場合には、グルイーノの質量への2ループ補正は典型的に1-2%となり、将来の実験で期待される測定精度より有意に大きくなりうることがわかった。

4.6.2 余剰次元模型、ヒッグスレス模型、リトルヒッグス模型

余剰次元模型の強結合ダイナミクス

標準理論を超える物理を探る上で、コンパクト化された余剰次元がTeVスケールに存在する可能性が盛んに議論されている。通常の4次元のゲージ理論とは異なり、余剰次元を伴うゲージ理論のカットオフはコンパクト化のスケール(TeVスケール)に接近している。この意味で、余剰次元の考え方は、電弱スケールとカットオフスケールとの間のいわゆる階層性の問題を解決する可能性がある。ただし、コンパクト化のスケールよりも高エネルギーでは、余剰次元ゲージ理論の相互作用は徐々に強結合になる。これまでの現象論的解析では十分低エネルギーに理論のカットオフがあることが仮定され、コンパクト化スケール以上での非摂動効果についてはあまり考えられてこなかった。

本研究ではこれに対し、改良された梯子近似シュビンガー・ダイソン方程式の方法を用いてこのような非摂動効果による対称性の力学的破れの解析を行ない、理論のパラメータのとり方によっては、このような非摂動効果が実際に重要になり得ることを示した。特に余剰次元QCDの強い引力によってトップ対凝縮が起きる場合は、余剰次元のダイナミクスと電弱対称性の破れが密接な関連を持つことになる。

一方、前記の研究に用いた改良された梯子近似シュビンガー・ダイソン方程式の定量的妥当性を議論するために、この近似を通常のQCDのカイラル対称性の力学的破れに応用する研究を行なった。これまでの同種の研究では、改良された梯子近似のクォーク間引力だけでは、QCDのカイラル対称性の破れの実際の大きさを説明するには十分ではないと考えられていたが、今回の私たちの研究では、くりこみスケールの不定性を正当に評価することにより、この問題が解消されることを示した。

余剰次元ゲージ理論のダイナミクスを調べることによって、余剰次元トップ対凝縮模型が成立するための条件を詳細に調べた。さらに、この模型の予言を定量的に評価した。その結果、トップクォークの質量として172-175 GeVが、ヒッグスポソンの質量として176-188 GeVがそれぞれ予言されることがわかった。とくにトップクォークの質量のこの予言値は、CDF実験における測定値178 GeVときわめ

て近いことは注目に値する。

リトルヒッグス模型

標準模型の階層性問題を解決するためのその他の方法として、ヒッグス場の起源をなんらかの 0 質量の南部・ゴールドストーン場に求めるリトル・ヒッグスのアイデアに注目が集まっている。厳密な南部・ゴールドストーン場は、その性質のため、フラットポテンシャルを持つ。一方、ヒッグス場には電弱対称性の自発的破れを引き起こすポテンシャルが必要とされる。そのため、リトル・ヒッグス模型においては、ヒッグス場を厳密な南部・ゴールドストーン場とは考えず、むしろ明示的に少しだけ破れたグローバル対称性の南部・ゴールドストーン場と考えている。このようなダイナミクスの代表例としては、QCD のカイラル対称性の力学的破れにおける π^\pm 粒子があげられる。(例えば、 $\pi^\pm - \pi^0$ の質量差を計算するには、QED によるカイラル対称性の明示的破れの効果を取り入れねばならない) リトル・ヒッグスはくりこみ不可能な模型であるにもかかわらず、現在のところ、リトル・ヒッグスの背後にあるダイナミクスについての考察は進んでいない。将来的には、リトル・ヒッグス模型にあるより基本的なダイナミクスについての議論を深める必要がある。

本研究では、QCD の低エネルギー有効理論として知られている「隠れた局所対称性模型」が、そのパラメータを $a = 1$ に選ぶことでリトル・ヒッグス模型に要求される性質を持つことを示し、そのパラメータで $\pi^\pm - \pi^0$ 質量差を評価した。その結果、パラメータを $a = 1$ とおいた隠れた局所対称性模型が現実の $\pi^\pm - \pi^0$ 質量差をほぼ説明することを示した。この研究は将来リトル・ヒッグス模型の背後のダイナミクスを構築する上で大きなヒントになるものと期待している。

ヒッグスレス模型

現在の素粒子標準模型では、ひとくみの基本スカラー場(ヒッグス場)が真空期待値を持つことにより、電弱ゲージ対称性の自発的破れを引き起こすと考えられている。しかしながら、標準模型の予言するヒッグス粒子は未だ発見されていない。また理論的にも、基本スカラー場の真空期待値が電弱対称性の自発的破れに関与していることを示す強い証拠はない。電弱対称性の破れの起源、つまり、素粒子の質量の起源は未だ謎に包まれている。

この問題に関連し、最近、ヒッグスレス模型という新しいアプローチが提案されている。この模型では、TeV スケールにコンパクト化された余剰次元を導入し、電弱ゲージ場は余剰次元方向に広がっていると考える。さらに、余剰次元方向の境界条件をうまく選ぶことによって、基本スカラー場(ヒッグス場)を導入することなく、4次元の電弱ゲージ場に質量を持たせることが可能になる。標準模型では、縦波の W の散乱振幅を摂動論的に保つのに、ヒッグス粒子の交換が必要であったのに対し、ヒッグスレス模型では、電弱ゲージ場のカルツァ・クラインモードの交換によって縦波 W の散乱振幅が摂動論的に保たれている(縦波散乱振幅のユニタリ性)。

平成 16 年度は主として、脱構築(デコンストラクト)されたヒッグスレス模型について、その電弱

補正と、現在の精密測定との整合性に関する研究を行った。脱構築、つまり、余剰次元方向の座標を格子にして離散化することにより、ヒッグスレス模型のような余剰次元ゲージ理論の解析を、4次元の非線形シグマ模型のダイナミクスの解析に帰着させることができる。われわれの脱構築ヒッグスレス模型の解析によって、クォーク・レプトンがブレーン上に局所化された通常のヒッグスレス模型は、縦波 W 散乱振幅のユニタリティーを保つ限り、LEP などでなされた精密測定による制限に矛盾することが示された。これは、ヒッグスレス模型のパラメータのとり方によらない非常に一般的な結論であり、現実的なヒッグスレス模型を構築する上での強い制限となる。

QCD の低エネルギー有効理論である非線形シグマ模型にベクトル粒子である メソンを自然に導入する模型として、5次元の Yang-Mills ゲージ理論を脱構築するアイデアが Son と Stephanov によって提案された。われわれはこの模型が拡張された Weinberg 和則を満たすことを示し、QCD の低エネルギー有効理論とはなりえないことを調べた。後に見るように、このような計算は電弱対称性をヒッグス粒子なしに破るヒッグスレス模型の現象論的解析にも用いることができる。

平成 17 年度は、ヒッグスレス模型について詳細な研究を行なった。ヒッグスレス模型にはスカラーヒッグスの自由度は導入されないにもかかわらず、この模型は、電弱ゲージ粒子散乱のユニタリティー条件をきわめて高エネルギーまで満たすことができる。ヒッグスレス模型は、5次元ゲージ理論を用いて記述されることが多いが、5次元方向を「脱構築」(deconstruction) することにより、ほぼ等価な4次元のゲージ化された非線形シグマ模型とみなすことができる。ヒッグスレス模型の現象論的研究をおこなうには、対応する非線形シグマ模型のダイナミクスを正しく理解することが極めて重要である。

16 年度の研究では、フェルミオン自由度がブレーン上に局在化しているタイプのヒッグスレス模型はすべて、電弱ゲージ粒子の性質の現在の精密測定に矛盾するか、あるいはユニタリティー条件が極めて低いエネルギーで破れていることを示したが、17 年度はこの研究を拡張し、フェルミオン自由度がバルク上に広がっている場合について詳細な研究をおこなった。

きわめて面白いことに、フェルミオン自由度がバルク上に広がっている (fermion delocalization) 場合は、電弱精密測定に矛盾しない模型をつくるのが可能であることを示すことができる。われわれはさらに、バルク上にどのようにフェルミオン自由度が広がっていれば電弱精密測定と矛盾しない模型が構築できるかという問題に取り組み、この問題への解答を ideal delocalization という形で与えた。

この ideal delocalization の場合、通常の電弱精密測定では模型への実験的制限を得ることはできない。また、この場合、ヒッグスレス模型にあらわれる重いゲージ粒子がいわゆる fermiophobic となるため、CDF などにおける重いゲージ粒子探索による制限もきわめてゆるいものになってしまう。われわれはこのケースについてより詳細な研究を行ない、LEP2 などによる電弱ゲージ粒子 3 点結合の測定が ideal delocalization のヒッグスレス模型に自明でない制限を与えることを指摘した。

4.6.3 初期宇宙と素粒子

初期宇宙は素粒子ときわめて密接な関係がある。素粒子の種類・相互作用は初期宇宙の発展を左右し

てきたし、逆に、我々が初期宇宙について得ている観測的情報（それほど多くはないが）は、素粒子物理に対して重要な手がかりを与えるものである。例えば、原初元素合成によるヘリウム、重水素、リチウムなどの存在比は、当時（MeV 程度の温度）存在した素粒子について大きな制約を与えるものとなっているし、近年精密測定となされた宇宙背景放射のゆらぎは、初期宇宙のパラメータを決定するとともに、インフレーションを通して、直接加速器実験で調べることができない素粒子に対しても情報を与えている。超対称理論においても宇宙論からの手がかりは貴重なものである。

平成 14・15 年度は、超対称素粒子模型に基づく宇宙模型の構築について、宇宙密度揺らぎ・宇宙背景放射揺らぎの起源に注目しつつ研究を行った。特に重点を置いたのは、宇宙初期にインフレーションを起こすスカラー場（インフラトン場）以外のスカラー場が、ある時期宇宙を支配するような宇宙進化のシナリオである。超対称模型の枠内では、様々なスカラー場が存在する。それらのうちのひとつが宇宙初期に大きな振幅を持つと、宇宙の発展のある段階で、そのスカラー場が宇宙のエネルギー密度を支配する時期が存在する。そのスカラー場が揺らぎを持つ場合、それは現在の宇宙密度揺らぎ・宇宙背景放射揺らぎに大きな影響を与えることとなる。本研究ではまず、超対称化された標準模型に現れるスカラークォークやスカラーレプトンといった場が、宇宙初期に大きな振幅とそのゆらぎを持った場合、現在の宇宙の密度ゆらぎにどのような特徴が現れるかを議論した。そして、その結果を近年得られた WMAP の観測結果と比較することで、いくつかのシナリオは観測から排除されることを明らかにした。

また、超対称素粒子模型に基づいて宇宙模型の構築を行うにあたっては、インフレーションの機構を明らかにすることも重要な課題のひとつである。超対称素粒子模型の枠内でのインフレーション模型のひとつに、D-term インフレーションと呼ばれる模型がある。この模型はインフレーション中のインフラトン場のポテンシャルをコントロールしやすいという利点があるが、一方でコスミックストリングを生成するという問題も指摘されていた。本研究では、遠藤・川崎両氏と共にこの模型に対する観測（特に近年得られた WMAP の結果）からの制限を議論すると共に、先にも述べたインフラトン以外のスカラー場の初期揺らぎが D-term インフレーション模型に対する制限にどのように影響するかを明らかにした。

さらに、近年の WMAP による観測は、極めて大きなスケール（現在の宇宙のホライズンスケールに近いスケール）において、宇宙温度ゆらぎが標準的なインフレーション模型の予言する値よりも小さくなっていることを示唆している。本研究においては、宇宙の暗黒エネルギーが宇宙の他の密度ゆらぎと相関のあるゆらぎを持つ場合、大スケールの揺らぎが標準的な値よりも小さく抑えられることを指摘した。さらに、揺らぎの値の理論的計算と WMAP による観測の結果を比較することで、暗黒エネルギーの揺らぎが持つべき性質を議論した。

続いて平成 16 年度は、特に宇宙初期におけるビッグバン軽元素合成のシナリオに対し、長寿命の粒子（寿命が 1 秒程度よりも長い粒子）がどのような影響をあたえるかを議論した。標準的な宇宙進化のシナリオに置いては、宇宙の年齢が 1 秒程度になると、宇宙温度が 1MeV 程度となり、その後軽元素合成が始まる。そして、標準的な宇宙進化を仮定して計算された軽元素量は、観測とよく一致することが知られている。しかし、超対称模型に含まれるような長寿命粒子（例えばグラビティーノなど）が宇宙初期に生成され、軽元素合成後に崩壊すると、生成された軽元素を破壊し、その結果、予言される軽元素量

が観測と矛盾してしまう可能性がある。本研究においては、長寿命粒子の崩壊が軽元素量にあたる影響について詳細な計算を行い、長寿命粒子に対しての制限をあたえた。特にここでは、これまで取り入れることが極めて困難であった、長寿命粒子のハドロンへの崩壊の効果を総合的かつ詳細に取り入れることに世界で始めて成功した。そして、長寿命粒子に対する制限が、ハドロンへの崩壊の効果を考慮しない場合に比べて極めて厳しいものとなることを明らかにした。

また、インフラトン以外のスカラー場が宇宙初期に大きな振幅とゆらぎを持つ場合についても、前年度から継続して研究を行った。平成 16 年度は特に、スカラークォークやスカラーレプトンの運動から宇宙のバリオン数非対称性が生成されるシナリオ (Affleck-Dine シナリオと呼ばれる) について、考察を行った。このシナリオでは、スカラークォークやスカラーレプトンが宇宙初期に大きな振幅を持つ。そして、その振幅にゆらぎがあると、宇宙のバリオン数非対称性にも等曲率ゆらぎと呼ばれるゆらぎが生じることとなる。現在の宇宙の密度ゆらぎの観測は、等曲率ゆらぎの存在を高い精度で否定している。この事実から、Affleck-Dine シナリオにおけるスカラークォーク・スカラーレプトンの初期振幅とそのゆらぎの大きさについての制限を、定量的に求めた。

さらに、宇宙初期にスカラー場が、環境からどのような質量を得るかについても研究を行った。そして、輻射優勢の宇宙と物質優勢の宇宙においてスカラー場が得る質量の大きさを議論した。

平成 17 年度は、長寿命粒子が軽元素合成にあたる影響について、前年度から継続して研究を行った。とくに、超対称模型に内在するグラビティーの (重力子の超対称パートナー) 軽元素合成にあたる影響について詳細な議論を行った。グラビティーは極めて相互作用の弱い粒子であり、その寿命は多くの場合 1 秒よりも長くなる。宇宙初期に作られるグラビティーノの量は、インフレーション後の宇宙再加熱温度に比例するため、この再加熱温度が高すぎるとグラビティーノが過剰に生成されることとなる。本研究においては、グラビティーノの生成に関しては数値計算を用いて正確な見積りを行うと共に、その崩壊についても詳細な計算を行った。特にこの研究においては、ハドロンを生成する崩壊モードが軽元素量にどのような影響をあたえるかを正しく見積もることが必要である。ここでは、PYTHIA プログラムを用いることで、生成される核子の数をこれまでになく精度で求めることに成功し、その結果を軽元素量の計算に用いている。そして、グラビティーノ崩壊がひきおこす電磁シャワー及びハドロンシャワーの影響を取り入れつつ、軽元素量の計算を行い、宇宙再加熱温度に対する上限を求めた。ここで得られた結果は、グラビティーノ生成からの宇宙再加熱温度に対する制限としては、世界的にも現在最も広く受け入れられている。

さらに、Large cutoff supergravity と呼ばれる模型についても考察を行った。このシナリオは、ほとんどのスカラー粒子が極めて重くなるという特徴的な質量スペクトルを预言するシナリオであるが、本研究では、この模型の枠内で、現在の宇宙進化の諸問題 (バリオン非対称性の生成・宇宙暗黒物質の起源の理解・インフレーション後のグラビティーノ生成の抑制など) を解決できる宇宙進化のシナリオが構築可能であることを指摘した。

4.6.4 公募研究（平成 14～15 年度）

公募研究「格子 QCD による重いクォークの物理の研究」では、研究代表者らによって提唱された格子上での重いクォークの作用の研究を行った。格子上での摂動展開を改良して、この作用に現れる 4 つの改良係数を摂動の 1 ループで計算した。また、 B 中間子の崩壊定数の計算に必要な演算子のくりこみ定数や改良係数も 1 ループで計算した。この作用を用いたテスト的な格子 QCD のモンテカルロ計算を行い、本格的な計算に向けて有望な結果を得た。

公募研究「格子カイラルゲージ理論の構成とゲージ対称性の自発的破れのダイナミクスの研究」では、格子 $U(1)$ カイラルゲージ理論の数値的な構成法を研究した。格子カイラルゲージ理論におけるゲージアノマリーの相殺を厳密に示すために必要な、アノマリーのコホモロジー的解析を、数値的に実行できる手法を開発した。この結果により、格子 Weyl フェルミオンの経路積分測度をゲージ不変に、数値的に構成することが可能になる。

公募研究「超対称性理論における物質の世代構造とヒッグス系の 3-2 表現分離問題の解明」では、まず、ヒッグス場を余次元ゲージ場の余次元成分とみなすゲージ・ヒッグス統一理論を E_6, E_7, E_8 大統一理論で考案し、ブレイン上にベクターライクな場を導入することで世代構造を導く、単純でアノマリーの無い理論を構築した。また、オービフォールドの境界条件によってゲージ群が破れる場合のユニタリ性について解析をおこない、KK モードとなった重いゲージボソンの散乱 ($XX \rightarrow XX$) においてユニタリ性が保たれることを示した。また、ウィルソンループの自由度が残る場合の細谷機構についても真空構造の解析を行った。

さらに、デモクラティックモデルにおけるレプトン・フレーバーの破れのプロセスの解析、世代に S_3 離散対称性を導入した質量行列の研究、 $B \rightarrow K\phi$ における超対称性粒子の効果と電子・中性子の EDM の制限、質量階層性のある右巻きニュートリノが存在する場合のフレーバー混合のくりこみ群解析を行っている。

公募研究「クォーク、レプトンの質量行列と自然な大統一理論」では、対称性で許されるすべての相互作用を導入する 4 次元の大統一理論の具体的な模型に関して 3 つの進展があった。(1) 異常 $U(1)$ 対称性を持った大統一理論は、かなり一般的にゲージ結合定数の統一を説明できること、(2) 非アーベル群の水平対称性を導入することで超対称性フレーバー問題が解けること (E_6 大統一群が重要である) (3) その E_6 大統一理論において、よりシンプルなヒッグスセクターを見つけたことである。

公募研究「コライダーによる超対称模型の検証」では、LHC 実験によって超対称粒子の性質を調べる方法の開発を行っており、スカラートップクォークの崩壊を同定する方法を確立した。また、建設が提案されている e^+e^- リニアコライダーによって軽い超対称粒子の質量を決めれば、その情報を用いて LHC の解析を改良でき、超対称模型を識別するのに重要な第三世代の粒子の質量相互作用が数%の

精度で決定できることを見いだした。

公募研究「B 中間子のセミタウオニック崩壊」では、クォークレベルの $b \rightarrow c\tau\nu$ 崩壊振幅への荷電ヒッグス粒子の寄与について、2ループのくりこみ群方程式を用いて QCD 補正を求めた。その結果、分岐比の計算における理論的不定性は形状因子の不定性によって支配されていることを示した。また、形状因子の不定性が現われない崩壊分布比では、QCD 補正による不定性が支配的であるが不定性の大きさは問題となるものではないことが分った。さらに、分岐比だけでは標準模型と最小超対称標準模型との区別がつかない場合でも、崩壊分布比を見れば容易にこれらの区別ができることも示した。

また、関連する研究として、B 中間子に関係するフレーバーおよび CP の破れの現象を様々な超対称模型で調べ、これらの現象を通じて超対称性の破れのフレーバー構造について調べる可能性について研究を行った。

公募研究「ニュートリノ振動現象におけるレプトン数の破れとその将来の実験に対する示唆」では、これまでに、新しい物理の影響が振動実験においてどのように現れるかを定式化して、一般論としてどの程度見えるかを調べた。また、振動実験に伴う物質効果の不定性について、地球模型との関連で調べた。一方、超対称性を有効利用するという観点から R パリティを破った模型におけるニュートリノ質量生成を考察した。

公募研究「超対称標準模型およびそれを越える模型とレプトンの物理」では、ニュートリノの質量の起源を説明するシーソー機構を超対称化した場合、荷電レプトンにおいても同様にフレーバーおよび CP の破れの事象を予言すること、及びシーソー機構を内包する超対称大統一模型において、ニュートリノセクターのフレーバーの破れがハドロンのフレーバーの破れに寄与しうることに注目し、これらの模型でのレプトンおよびハドロンのフレーバーの破れの事象および CP の破れの事象の解析を行った。また、あわせて超対称標準模型の現象論的研究を行った。

4.6.5 公募研究（平成 16～17 年度）

公募研究「格子 QCD による重いクォークの物理の研究の展開」では、以前に提案した重いクォークに対する格子 QCD 作用を実際に用いて計算を行った。具体的には、(1) 2 つの軽い力学的クォークの寄与を含むゲージ配位を用いて、チャーム・クォークを含んだ中間子の質量や崩壊定数などを計算した。特に、チャーモニウムの微細構造や D 中間子の崩壊定数などを中心に計算し、カイラル外挿や連続極限などの外挿を行った。(2) チャームクォークよりさらに重いボトムクォークに対してこの作用が有効であるかどうかを、クエンチ近似の計算で調べた。いろいろな格子間隔で物理量を測定し、そのスケールリングのふるまいを見て作用の有効性を検討した。(3) アップ、ダウン、ストレンジの 3 つの軽いクォークを含む完全な格子 QCD によって生成されたゲージ配位を用いて、チャームやボトムを含む中間子の物理量を計算した。(4) B 中間子の混合パラメタの計算に向けて 4 クォーク演算子のくりこみ定数や改良

係数の計算を行った。

公募研究「三世代の質量構造と新しい物理」では、大気ニュートリノ及び太陽ニュートリノの観測から、ニュートリノは質量を持ち、レプトンは世代間に混合を持つという事実を説明するためには、標準理論を拡張する必要がある、そのようなモデルでは一般にこの混合以外の要因もニュートリノ振動を解釈する上で考慮する必要がでてくることに注目し、超対称標準模型に右巻きのニュートリノを入れたタイプの模型でどのようになるかを調べた。さらに、新しいタイプの振動実験を提案した。

また、ニュートリノ振動や、超長寿命粒子の観測に関係するかも知れない量子力学の枠組みについて考察をした。その関連で、スカラータウレプトンが2番目に軽い超対称粒子であり、最も軽い超対称粒子との質量差が非常に小さい場合に、その寿命が理論のパラメタによってどのように変わるかを調べた。

さらに、超対称標準模型において、スカラータウ、スカラートップの混合にCPの破れの影響がある場合について、ピーノ的な暗黒物質の対消滅率が飛躍的に上がる場合があることを示した。

公募研究「ドメイン・ウォールなどに局在した粒子の質量と対称性の破れの研究」では、ドメインウォールなどに局在した粒子の質量を考察し、それを用いて超対称性などの対称性の破れを研究した。ブレーンワールド（余剰次元）模型が可能であるためには、場の理論における非線形な場の方程式の解すなわちソリトンとして、ドメインウォールなどのブレーンを実現する必要がある。一方、超弦理論や超重力理論に見られるように、基本理論には大きな超対称性が備わっている可能性が高い。そこで、超対称理論における壁、渦糸、磁気単極子、インスタントンなどさまざまなソリトンを研究した。それらのソリトンの上の有効理論に登場する粒子は、対称性の破れに伴って生じた質量零の粒子であることが多く、これらの有効理論を構成した。さらにそれらの超対称理論でのソリトンを、ブレーンワールドに応用した。

公募研究「電子・陽電子リニアコライダーにおける標準模型を超える新しい物理の現象論的研究」では、(1) 標準模型を超える新しい素粒子模型としての超対称性理論を将来のコライダー実験で検証するため、ハドロンコライダーでの弱ボソン対消滅による超対称粒子の生成崩壊や、超対称性に基づく相互作用によるレプトンフレーバーの破れの検証などについて調べた。(2) 将来のコライダー実験におけるリトルヒッグス模型の検証可能性、特に模型が持つ中性 Z' ボソンとフェルミオンとの相互作用の特徴に着目し、大統一模型など他の Z' ボソンを持つ模型とを区別する方法について提案した。(3) フレーバー量子数の起源を「ブレーン」にあると仮定し、QCD 的な弦理論の模型を構築し、メソン・ストリングの古典解を求めた。

公募研究「クォーク・レプトン質量行列のフレーバー構造の研究」では、クォークとレプトンの質量行列のフレーバー構造を明らかにし、それらを統一するモデルを構成することを目標とし、以下のように、フレーバーの離散対称性や超対称性にもとづいたクォークとレプトンの質量行列の構成を行った。(1) クォークとレプトンの質量行列の構造をフレーバーの離散対称性から導出することに成功してきたが、その対称性の起源を高次元時空の位相幾何学構造にもとめ、現象論的に矛盾のない S_3 対称性をもったレプトンの質量行列モデルを構成した。(2) レプトンの質量行列の構造を、現象論的に決める手法とし

て、行列要素の一つがゼロで、さらに二つの要素の大きさが同じになるようなハイブリッド行列パターン 60 種類を数値解析し、そのフレーバー混合の特徴を明らかにした。(3) μ - τ 反対称性を持つニュートリノの新しいモデルを提唱した。(4) フレーバーの A_4 対称性をクォークに適用し、実験と矛盾ないモデルを構成することができた。

公募研究「B 中間子のセミレプトニック崩壊と小林益川行列要素の決定」では、格子 QCD を用いた $B \rightarrow \pi \ell \nu$ 崩壊の形状因子の計算について研究を行った。この形状因子を求めることは、小林益川行列要素 $|V_{ub}|$ の決定、ひいては標準模型や新しい物理の検証に不可欠であるが、現状では (1) 格子 QCD 計算で扱える運動量領域が限られていること、(2) カイラル極限への外挿の不定性、(3) 格子上の重いクォークの有効理論のマッチングによる誤差、の要因により、20-30%程度の精度しか得られていない。

1 番目の問題解決のため、分散不等式を用いた新しい $|V_{ub}|$ の決定方法を提案した。この方法を応用して格子 QCD 計算と B ファクトリー実験 CLEO のデータを組み合わせることにより、小林益川行列要素 $|V_{ub}|$ を 15%の精度で決定した。

2 番目の問題解決のため、厳密なカイラル対称性を持つ格子上のフェルミオン (オーバーラップフェルミオン) の研究を行った。ゲージ場のトポロジを固定する新しいゲージ作用を提唱し、これが大規模計算が可能となる優れた作用であることを明らかにした。動的フェルミオンのケースについてより詳しい研究が進められている。

3 番目の問題のため $1/M$ 補正を含めた重クォーク有効理論の非摂動的マッチングの研究を行い、ひねった境界条件を用いた新しい方法を提唱した。また、この研究で得られた手法を用いた、関連する他のテーマへの応用的研究も行った。

公募研究「現実的湯川行列を導く機構とその対称性の破れの項への影響」では、超弦理論のような基本的な理論から現実的な湯川行列を導く機構を研究し、超対称性の破れの項への影響を調べることを目的とし、ヘテロティック・オービフォールドモデルや交叉 D ブレーンモデルから導かれるクォーク、レプトンの湯川行列の系統的に調べた。ある種のヘテロティック・オービフォールドモデルは、現実的な湯川行列を導く可能性があるが、交叉 D ブレーンモデルの場合は、ミニマルな設定では現実的な湯川行列を導くことが難しいという結論を得た。

最近の場の理論のモデルでは、離散的な非可換フレーバー対称性を仮定することにより現実的な湯川行列を導出する試みが盛んになされているが、そのフレーバー対称性の起源は問われていない。この研究では、 D_4 フレーバー対称性を持つ弦モデルを初めて構成した。

公募研究「自然な大統一理論とその予言」では、統一群として E_6 を用い、水平対称性をも導入する理論が、現象論的にうまくいっていることを指摘し、そのヒッグスセクターをも統合できることを示した。このモデルから予測される、超対称性を破るスフェルミオンの質量を用いると、 $\tau \rightarrow \mu \gamma$ や $\mu \rightarrow e \gamma$ 等のレプトンフレーバーの破れが、近い将来の実験で十分に見える範囲にあることを見いだした。

また、大統一理論の問題を自然に解くときに重要な役割を果たす異常 $U(1)$ 対称性が存在する場合、

Peccei-Quinn 対称性が accidental symmetry として現れ、ある条件を満たすときには、強い CP の問題が解決されることがわかった。

さらに、LEP の標準模型のヒッグス粒子の質量に対する制限を超対称理論に適用するとスカラートップクォークの質量を大きくせざるを得ず、そのためヒッグスポテンシャル中のパラメータの調整が必要になるという微調整問題も、ヒッグス粒子と Z 粒子の結合定数が標準模型のものよりも小さい場合を考えると、問題ではなくなることを指摘した。また、このシナリオにおける軽い荷電ヒッグスの $b \rightarrow s\gamma$ への寄与は、微調整問題がなくなるようなパラメータ領域では、超対称粒子からの寄与と自然に相殺することを示した。

公募研究「ヒッグス場の起源が高次元ゲージ場のスカラー成分である可能性についての研究」では、以下の研究を行った。ヒッグス場の起源が高次元ゲージ場のスカラー成分である理論（ゲージ・ヒッグス統一理論）において、ヒッグスの質量の計算は、無限個の KK モードの効果を取り入れた有効ポテンシャルの導出が必要と考えられてきたが、コンパクト化のスケールでヒッグスの自己結合がゼロになる境界条件（ゲージ・ヒッグス条件）を課すことにより、4次元有効理論としてのくりこみ群解析を用いても等価な計算結果が得られることを示した。この結果、ゲージ・ヒッグス統一理論におけるヒッグスの質量の解析が非常に簡単に行えるようになった。また、5次元オービフォールド上の $SU(N)$, $SO(10)$ ゲージ理論の真空の相構造の解析と、ゲージ・ヒッグス統一理論における量子効果の評価、相構造の解析、ダイナミカルな電弱相転移の可能性の評価を行い、未知の真空構造の存在を明らかにした。

また、クォーク・レプトンの世代とヒッグス場に S_3 フレーバー離散対称性を導入して、ヒッグスポテンシャルの真空がゼロテクスチャーを実現する新しい機構を考案した。その結果、今までは単なる仮定であった質量テクスチャーが模型から導出できるようになった。また、この手法を GUT に適応することで、クォークとレプトンを関係づけてテクスチャーの解析を行うことが可能になった。

4.6.6 主要論文

- T. Han, K. Hikasa, J. M. Yang, and X. Zhang, Flavor-changing neutral current top-squark decay as a probe of squark mixing, *Phys. Rev. D* **70**, 055001 (2004).
- M. Endo, M. Kakizaki, and M. Yamaguchi, New constraint on squark flavor mixing from ^{199}Hg electric dipole moment, *Phys. Lett. B* **583**, 186–191 (2004).
- M. Endo, S. Mishima, and M. Yamaguchi, Recent measurements of CP asymmetries of $B \rightarrow \phi K^0$ and $B \rightarrow \eta' K_S$ at B factories suggest new CP violation in left-handed squark mixing, *Phys. Lett. B* **609**, 95–101 (2005).
- F. Borzumati, C. Greub, and Y. Yamada, Beyond leading order corrections to $B \rightarrow s\gamma$ at large $\tan\beta$: The charged Higgs contribution, *Phys. Rev. D* **69**, 055005 (2004).
- M. Harada, M. Kurachi, and K. Yamawaki, The $\pi^+-\pi^0$ mass difference and the S parameter in large N_F QCD, *Prog. Theor. Phys.* **115**, 765–795 (2006)
- M. Kawasaki, K. Kohri, and T. Moroi, Hadronic decay of late-decaying particles and big-bang nucleosynthesis, *Phys. Lett. B* **625**, 7–12 (2005).
- T. Moroi and T. Takahashi, Correlated isocurvature fluctuation in quintessence and suppressed CMB anisotropies at low multipoles, *Phys. Rev. Lett.* **92**, 091301 (2004).

主要論文

5 研究成果の取りまとめ状況

実験の5つの計画研究(A01-A05)と理論の計画研究(A06)では、今までに進めてきた研究の成果を取りまとめて、実験・理論の緊密な連携のもとに本研究成果報告書を作成した。公募研究の成果も同様に包括的に取りまとめて、計画研究の成果を深めた。研究成果報告書の作成に先立って本領域研究の取りまとめ、および情報の開示をWEBページなどをおして行った。このために、以下の役割分担で成果を取りまとめを推進してきた。

- 金 信弘(筑波大学) 総括班の監督, 計画研究 A01 の代表者として指揮
- 相原 博昭(東京大学) 事務担当, 計画研究 A02 の代表者として指揮
- 大島 隆義(名古屋大学) 計画研究 A03 の代表者として指揮
- 山中 卓(大阪大学) 計画研究 A04 の代表者として指揮
- 杉本 章二郎(高エネルギー加速器研究機構) 計画研究 A05 の代表者として指揮
- 日笠 健一(東北大学) 計画研究 A06 の代表者として指揮

総括班は上記の各研究の調整をとり、特に実験研究について指揮をとると同時に、理論と実験の密接な交流をはかってきた。総括班連絡会を行い、各研究の調整をとり、情報の開示をWEBページなどをおして行い、研究成果報告書を編集し、コミュニケーションと情報の開示を総括した。連絡会のための旅費、成果報告書作成に必要とされる謝金等、成果報告書の印刷費を得るために特定領域研究「質量起源と超対称性物理の研究成果取りまとめ」の科学研究費補助金に応募して、採択された。この予算を用いて、成果取りまとめを行ない、本研究成果報告書を作成した。

6 研究成果公表の状況 (主な論文等一覧)

6.1 発表論文

注：研究代表者には二重下線，研究分担者には一重下線が付いている。

- A01 計画

- “Search for Gluinos and Scalar Quarks in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV Using the Missing Energy plus Multijets Signature”, T. Affolder, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **88**, 041801 (2002).
- “Measurement of the Strong Coupling Constant from Inclusive Jet Production at the Tevatron $p\bar{p}$ Collider”, T. Affolder, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **88**, 042001 (2002).
- “Study of $B^0 \rightarrow J/\psi K^{(*)0} \pi^+ \pi^-$ Decays with the Collider Detector at Fermilab”, T. Affolder, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **88**, 071801 (2002).
- “Search for New Heavy Particles in the WZ^0 Final State in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, T. Affolder, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **88**, 071806 (2002).
- “Measurement of $d\sigma/dy$ for High Mass Drell-Yan e^+e^- Pairs from $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, T. Affolder, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **63**, 011101(R) (2001).
- “Measurement of the Top Quark Mass with the Collider Detector at Fermilab”, T. Affolder, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **63**, 032003 (2001).
- “Tests of Enhanced Leading Order QCD in W Boson plus Jets Events from 1.8 TeV $p\bar{p}$ Collisions”, T. Affolder, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **63**, 072003 (2001).
- “Search for the Supersymmetric Partner of the Top Quark in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, T. Affolder, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **63**, 091101(R) (2001).
- “Measurement of the Two-Jet Differential Cross Section in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1800$ GeV”, T. Affolder, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **64**, 012001 (2001), Phys. Rev. D **65**, 039902(E) (2002).
- “Measurement of the Inclusive Jet Cross Section in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, T. Affolder, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **64**, 032001 (2001), Phys. Rev. D **65**, 039903(E) (2002).

- “Measurement of the $t\bar{t}$ Production Cross Section in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, T. Affolder, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **64**, 032002 (2001).
- “Measurement of the W Boson Mass with the Collider Detector at Fermilab”, T. Affolder, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **64**, 052001 (2001).
- “Observation of Orbitally Excited B Mesons in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, T. Affolder, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **64**, 072002 (2001).
- “Search for Narrow Diphoton Resonances and for $\gamma\gamma + W/Z$ Signatures in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, T. Affolder, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **64**, 092002 (2001).
- “Cross Section and Heavy Quark Composition of $\gamma + \mu$ Events Produced in $p\bar{p}$ Collisions”, T. Affolder, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **65**, 012003 (2002).
- “Measurement of the B^+ Total Cross Section and B^+ Differential Cross Section $d\sigma/dp_T$ in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **65**, 052005 (2002).
- “Study of the Heavy Flavor Content of Jets Produced in Association with W Bosons in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **65**, 052007 (2002).
- “The CDF Plug Upgrade Electromagnetic Calorimeter: Test Beam Results”, M. Albrow, S.H. Kim, Y. Seiya *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **480**, 524 (2002).
- “Search for Gluinos and Scalar Quarks in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV Using the Missing Energy plus Multijets Signature”, T. Affolder, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **88**, 041801 (2002).
- “Measurement of the Strong Coupling Constant from Inclusive Jet Production at the Tevatron $p\bar{p}$ Collider”, T. Affolder, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **88**, 042001 (2002).
- “Study of $B^0 \rightarrow J/\psi K^{(*)0} \pi^+ \pi^-$ Decays with the Collider Detector at Fermilab”, T. Affolder, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **88**, 071801 (2002).
- “Search for New Heavy Particles in the WZ^0 Final State in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, T. Affolder, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **88**, 071806 (2002).
- “Diffractive Dijet Production at $\sqrt{s} = 630$ and 1800 GeV at the Fermilab Tevatron”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **88**, 151802 (2002).
- “ Υ Production and Polarization in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **88**, 161802 (2002).

- “Search for New Physics in Photon-Lepton Events in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **89**, 041802 (2002).
- “Limits on Extra Dimensions and New Particle Production in the Exclusive Photon and Missing Energy Signature in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **89**, 281801 (2002).
- “Measurement of the B^+ total cross section and B^+ differential cross section $d\sigma/dp_T$ in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **65**, 052005 (2002).
- “Searches for new physics in events with a photon and b -quark jet at CDF”, T. Affolder, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **65**, 052006 (2002).
- “Study of the heavy flavor content of jets produced in association with W Bosons in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **65**, 052007 (2002).
- “Soft and hard interactions in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1800$ and 630 GeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **65**, 072005 (2002).
- “Search for single-top-quark production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **65**, 091102(R) (2002).
- “Charged jet evolution and the underlying event in proton-antiproton collisions at 1.8 TeV”, T. Affolder, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **65**, 092002 (2002).
- “Measurement of B -meson lifetimes using fully reconstructed B decays produced in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **65**, 092009 (2002).
- “Search for the decay $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^- \phi$ in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **65**, 111101(R) (2002).
- “Comparison of the isolated direct photon cross sections in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV and $\sqrt{s} = 0.63$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **65**, 112003 (2002).
- “Search for new physics in photon-lepton events in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **66**, 012004 (2002).
- “Measurement of the ratio of b quark production cross sections in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 630$ GeV and $\sqrt{s} = 1800$ GeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **66**, 032002 (2002).
- “Branching ratio measurements of exclusive B^+ decays to charmonium with the Collider Detector at Fermilab”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev.

- D **66**, 052005 (2002).
- “Cross section for forward J/ψ production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **66**, 092001 (2002).
 - “Search for radiative b -hadron decays in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **66**, 112002 (2002).
 - “Search for a W' Boson Decaying to a Top and Bottom Quark Pair in 1.8 TeV $p\bar{p}$ Collisions”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **90**, 081802 (2003).
 - “Search for Long-Lived Charged Massive Particles in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **90**, 131801 (2003).
 - “Search for Associated Production of Υ and Vector Boson in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **90**, 221803 (2003).
 - “Search for the Supersymmetric Partner of the Top Quark in Dilepton Events from $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **90**, 251801 (2003).
 - “Central Pseudorapidity Gaps in Events with a Leading Antiproton at the Fermilab Tevatron $p\bar{p}$ Collider”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **91**, 011802 (2003).
 - “Search for Lepton Flavor Violating Decays of a Heavy Neutral Particle in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **91**, 171602 (2003).
 - “Measurement of Prompt Charm Meson Production Cross Sections in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **91**, 241804 (2003).
 - “Momentum distribution of charged particles in jets in dijet events in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV and comparisons to perturbative QCD predictions”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **68**, 012003 (2003).
 - “Measurement of the mass difference $m(D_s^+) - m(D^+)$ at CDF II”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **68**, 072004 (2003).
 - “Search for the flavor-changing neutral current decay $D^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **68**, 091101(R) (2003).
 - “Search for Pair Production of Scalar Top Quarks in R -parity Violating Decay Modes in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys.

- Rev. Lett. **92**, 051803 (2004).
- “Search for Kaluza-Klein Graviton Emission in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV using the Missing Energy Signature”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **92**, 121802 (2004).
 - “Search for $B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ and $B_d^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ Decays in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **93**, 032001 (2004).
 - “Inclusive Search for Anomalous Production of High- p_T Like-Sign Lepton Pairs in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **93**, 061802 (2004).
 - “Observation of the Narrow State $X(3872) \rightarrow J/\psi\pi^+\pi^-$ in $\bar{p}p$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **93**, 072001 (2004).
 - “Inclusive Double-Pomeron Exchange at the Fermilab Tevatron $\bar{p}p$ Collider”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **93**, 141601 (2004).
 - “Measurement of the $t\bar{t}$ Production Cross Section in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV Using Dilepton Events”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **93**, 142001 (2004).
 - “Search for Doubly Charged Higgs Bosons Decaying to Dileptons in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **93**, 221802 (2004).
 - “Measurement of the average time-integrated mixing probability of b -flavored hadrons produced at the Tevatron”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **69**, 012002 (2004).
 - “Optimized search for single-top-quark production at the Fermilab Tevatron”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **69**, 052003 (2004).
 - “Heavy flavor properties of jets produced in $p\bar{p}$ interactions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **69**, 072004 (2004).
 - “Measurement of the polar-angle distribution of leptons from W boson decay as a function of the W transverse momentum in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **70**, 032004 (2004).
 - “Underlying event in hard interactions at the Fermilab Tevatron $p\bar{p}$ collider”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **70**, 072002 (2004).
 - “Direct photon cross section with conversions at CDF”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **70**, 074008 (2004).

- “Combination of CDF and D0 results on the W boson mass and width”, V. M. Abazov, S.H. Kim *et al.*, The CDF and D0 Collaborations, Phys. Rev. D **70**, 092008 (2004).
- “The CDF calorimeter upgrade for Run IIB”, S. Kuhlmann, S.H. Kim *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **518**, 39 (2004).
- “The CDF Run IIB silicon detector”, M. Aoki, S.H. Kim *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **518**, 270 (2004).
- “The CDF Silicon Vertex Trigger”, B. Ashmanskas *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **518**, 532 (2004).
- “A Time-of-Flight detector in CDF-II”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **518**, 605 (2004).
- “Selection of tau leptons with the CDF Run 2 trigger system”, A. Anastassov *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **518**, 609 (2004).
- “CDF Central Outer Tracker”, T. Affolder, *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **526**, 249 (2004).
- “Sensors for the CDF Run2b Silicon Detector”, K. Hara *et al.*, IEEE Trans. Nucl. Sci. **51**, 1546 (2004).
- “Polyimide and BeO Mini Port Card Performance Comparison for CDF Run IIB”, G. Cardoso *et al.*, IEEE Trans. Nucl. Sci. **51**, 2174 (2004).
- “CDF Run IIB Silicon: Stave design and testing”, R. S. Lu, K. Hara *et al.*, IEEE Trans. Nucl. Sci. **51**, 2209 (2004).
- “CDF Run IIB Silicon: The New Innermost Layer”, P. Merkel, K. Hara *et al.*, IEEE Trans. Nucl. Sci. **51**, 2215 (2004).
- “CDF Run IIB Silicon: Electrical Performance and Deadtime-less Operation”, T. Akimoto, K. Hara *et al.*, IEEE Trans. Nucl. Sci. **51**, 2220 (2004).
- “Measurement of $W\gamma$ and $Z\gamma$ Production in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **94**, 041803 (2005).
- “First Measurements of Inclusive W and Z Cross Sections from Run II of the Fermilab Tevatron Collider”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **94**, 091803 (2005).
- “Search for Excited and Exotic Electrons in the $e\gamma$ Decay Channel in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **94**, 101802 (2005).
- “Measurement of the Lifetime Difference between B_s Mass Eigenstates”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **94**, 101803 (2005).

- “Measurement of Partial Widths and Search for Direct CP Violation in D^0 Meson Decays to K^-K^+ and $\pi^-\pi^+$ ”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **94**, 122001 (2005).
- “Measurement of Charged-Particle Multiplicities in Gluon and Quark Jets in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **94**, 171802 (2005).
- “Measurement of the W^+W^- Production Cross Section in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV using Dilepton Events”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **94**, 211801 (2005).
- “Search for Anomalous Kinematics in $t\bar{t}$ Dilepton Events at CDF II”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **95**, 022001 (2005).
- “Measurement of the Cross Section for Prompt Diphoton Production in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **95**, 022003 (2005).
- “Evidence for $B_s^0 \rightarrow \phi\phi$ Decay and Measurements of Branching Ratio and A_{CP} for $B^+ \rightarrow \phi K^+$ ”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **95**, 031801 (2005).
- “Search for Higgs Bosons Decaying into $b\bar{b}$ and Produced in Association with a Vector Boson in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **95**, 051801 (2005).
- “Search for Long-Lived Doubly Charged Higgs Bosons in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **95**, 071801 (2005).
- “Measurement of $\mathcal{B}(t \rightarrow Wb)/\mathcal{B}(t \rightarrow Wq)$ at the Collider Detector at Fermilab”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **95**, 102002 (2005).
- “Search for New Physics Using High-Mass Tau Pairs from 1.96 TeV $p\bar{p}$ Collisions”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **95**, 131801 (2005).
- “Search for $B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ and $B_d^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ Decays in $p\bar{p}$ Collisions with CDF II”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **95**, 221805 (2005).
- “Search for New High-Mass Particles Decaying to Lepton Pairs in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **95**, 252001 (2005).
- “Search for electroweak single-top-quark production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 012005 (2005).

- “Measurement of the W boson polarization in top decay at CDF at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 031101(R) (2005).
- “Search for anomalous production of diphoton events with missing transverse energy at CDF and limits on gauge-mediated supersymmetry-breaking models”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 031104(R) (2005).
- **“Measurement of the J/ψ meson and b -hadron production cross sections in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1960$ GeV”**, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, **The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 032001 (2005).**
- “Comparison of three-jet events in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV to predictions from a next-to-leading order QCD calculation”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 032002 (2005).
- “Measurement of the moments of the hadronic invariant mass distribution in semileptonic B decays”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 051103(R) (2005).
- “Measurement of the forward-backward charge asymmetry from $W \rightarrow e\nu$ production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 051104(R) (2005).
- “Measurement of the forward-backward charge asymmetry of electron-positron pairs in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 052002 (2005).
- “Measurement of the $t\bar{t}$ production cross section in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV using lepton+jets events with secondary vertex b -tagging”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 052003 (2005).
- **“Measurement of the $t\bar{t}$ production cross section in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV using kinematic fitting of b -tagged lepton+jet events”**, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, **The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 072005 (2005).**
- “Search for ZZ and ZW production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 091105(R) (2005).
- “Measurements of bottom-antibottom azimuthal production correlations in proton-antiproton collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 092001 (2005).
- “Search for scalar leptoquark pairs decaying to $\nu\bar{\nu}q\bar{q}$ in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 112001 (2005).
- “Study of jet shapes in inclusive jet production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 112002 (2005).

- “Measurement of the $t\bar{t}$ production cross section in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV using lepton plus jets events with semileptonic B decays to muons”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **72**, 032002 (2005).
- “Search for $\Lambda_b^0 \rightarrow p\pi$ and $\Lambda_b^0 \rightarrow pK$ decays in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **72**, 051104(R) (2005).
- “Search for first-generation scalar leptoquarks in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **72**, 051107(R) (2005).
- “ K_S^0 and Λ^0 production studies in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1800$ and 630 GeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **72**, 052001 (2005).
- “Measurement of the cross section for $t\bar{t}$ production in $p\bar{p}$ collisions using the kinematics of lepton+jets events”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **72**, 052003 (2005).
- “Search for supersymmetric Higgs bosons in the di-tau decay mode in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **72**, 072004 (2005).
- “Search for Neutral Higgs Bosons of the Minimal Supersymmetric Standard Model Decaying to τ Pairs in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **96**, 011802 (2006).
- **“Precision Top-Quark Mass Measurement in the Lepton+Jets Topology in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **96**, 022004 (2006).**
- “Search for Charged Higgs Bosons from Top Quark Decays in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **96**, 042003 (2006).
- **“Search for Higgs Bosons Decaying to $b\bar{b}$ and Produced in Association with W Bosons in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **96**, 081803 (2006).**
- “Evidence for the Exclusive Decay $B_c^{+/-} \rightarrow J/\psi\pi^{+/-}$ and Measurement of the Mass of the $B_c^{+/-}$ Meson”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **96**, 082002 (2006).
- “Measurement of the Dipion Mass Spectrum in $X(3872) \rightarrow J/\psi\pi^+\pi^-$ Decays”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **96**, 102002 (2006).
- “Measurement of the Inclusive Jet Cross Section using the KT Algorithm in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **96**, 122001 (2006).

- “Top Quark Mass Measurement from Dilepton Events at CDF II”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. 96, 152002 (2006).
- “Measurement of the Ratios of Branching Fractions $B(B(s)^0 \rightarrow D(s)^- \pi^+)/B(B^0 \rightarrow D^- \pi^+)$ and $B(B^+ \rightarrow \bar{D}^0 \pi^+)/B(B^0 \rightarrow D^- \pi^+)$ ”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. 96, 191801 (2006).
- “Direct Search for Dirac Magnetic Monopoles in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. 96, 201801 (2006).
- “Measurement of the $t\bar{t}$ Production Cross Section in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV using Missing E(t) + jets Events with Secondary Vertex b-Tagging”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. 96, 202002 (2006).
- “Search for $Z' \rightarrow e^+e^-$ Using Dielectron Mass and Angular Distribution in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. 96, 211801 (2006)
- “Search for High-Mass Resonances Decaying to $e\mu$ in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. 96, 211802 (2006).
- “Observation of $B_s^0 \rightarrow \psi(2S)\phi$ and Measurement of Ratio of Branching Fractions $B(B_s^0 \rightarrow \psi(2S)\phi)/B(B_s^0 \rightarrow J/\psi\phi)$ ”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. 96, 231801 (2006).
- “**Measurement of the B_c^+ Meson Lifetime Using $B_c^+ \rightarrow J/\psi e^+ \nu_e$** ”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. 97, 012002 (2006).
- “**Search for a Neutral Higgs Boson Decaying to a W Boson Pair in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV**”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. 97, 081802 (2006).
- “Measurement of the $t\bar{t}$ Production Cross Section in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. 97, 082004 (2006).
- “**Measurement of the $B_s^0 - \bar{B}_s^0$ Oscillation Frequency**”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. 97, 062003 (2006).
- “Search for Large Extra Dimensions in the Production of Jets and Missing Transverse Energy in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. 97, 171802 (2006).
- “Search for W and Z bosons in the reaction $p\bar{p} \rightarrow$ two jets+ γ at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D 73, 012001 (2006).
- “**Top Quark Mass Measurement Using the Template Method in the Lepton +**

- Jets Channel at CDF II**", A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, **The CDF Collaboration**, *Phys. Rev. D* **73**, 032003 (2006).
- “Search for Anomalous Semileptonic Decay of Heavy Flavor Hadrons Produced in Association with a W Boson at CDF II”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, *Phys. Rev. D* **73**, 051101 (2006).
 - “Search for Second-Generation Scalar Leptoquarks in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, *Phys. Rev. D* **73**, 051102 (2006).
 - “Measurement of Mass and Width of the Excited Charmed Meson States D_1^0 and D_2^0 at CDF”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, *Phys. Rev. D* **73**, 051104 (2006).
 - “Measurement of the Azimuthal Angle Distribution of Leptons from W Boson Decays as a Function of the W Transverse Momentum in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, *Phys. Rev. D* **73**, 052002 (2006).
 - **“Measurement of the Top Quark Mass with the Dynamical Likelihood Method using Lepton plus Jets Events with b-tags in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”**, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, **The CDF Collaboration**, *Phys. Rev. D* **73**, 092002 (2006).
 - “Measurement of the Helicity of W Bosons in Top-Quark Decays”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, *Phys. Rev. D* **73**, 111103 (2006).
 - “Measurement of the Top Quark Mass using Template Methods on Dilepton Events in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, *Phys. Rev. D* **73**, 112006 (2006).
 - “Measurement of the b Jet Cross Section in Events with a Z Boson in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, *Phys. Rev. D* **74**, 032008 (2006).
 - “Measurement of the $t\bar{t}$ Production Cross Section in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV in the all Hadronic Decay Mode”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, *Phys. Rev. D* **74**, 072005 (2006).
 - “Measurement of the $t\bar{t}$ Production Cross Section in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV using Lepton + Jets Events with Jet Probability b-tagging”, A. Abulencia, S.H. Kim *et al.*, The CDF Collaboration, *Phys. Rev. D* **74**, 072006 (2006).

- A01 公募

- “The first integration test of the ATLAS end-cap muon level 1 trigger system, K.Hasuko, H.Kano, Y.Matsumoto, Y.Nakamura, H.Sakamoto, T.Takemoto, C. Fukunaga, Y.Ishida,

- S.Komastu, K.Tanaka, M.Ikeno, K.Nakayoshi, O.Sasaki, Y.Yasu, M.Totsuka, Y.Hasegawa, K.Mizouchi, S.Tsuji, R.Itch-miya, H.Kurashige, T.Maeno.” 2002 IEEE Nuclear Science Symposium, 10-16 Nov. 2002, Norfolk, Virginia, USA
- “Results of a Slice System Test for the ATLAS End-cap Muon Level-1 Trigger”, H.Kano, K.Hasuko, Y.Matsumoto, Y.Nakamura, C. Fukunaga, Y.Ishida, S.Komatsu, K.Tanaka, M.Ikeno, O.Sasaki, M.Totsuka, Y.Hasegawa, K.Mizouchi, S.Tsuji, R.Ichimiya, H.Kurashige, T.Maeno. 8th Workshop on Electronics for LHC Experiments, 9-13 Sep. 2002, Colmar, France.
 - ”Possibilities in Experimental Programs”, S. Yamashita, To appear in the proceedings of International Workshop on Linear Colliders (LCWS 2002), Jeju Island, Korea, 26-30 Aug 2002.
 - ”Summary and Conclusion” S.Komamiya, To appear in the proceedings of LCWS 2002, Jeju Island, Korea, 26-30 Aug 2002.
 - HIGGS STUDIES IN ACFA LINEAR COLLIDER WORKING GROUP By S.Kiyoura, S.Kanemura, K.Odagiri, Y.Okada, E.Senaha, S. Yamashita, Y.Yasui, KEK-TH-864, Jan 2003. 9pp. hep-ph/0301172 To appear in the proceedings of LCWS 2002, Jeju Island, Korea, 26-30 Aug 2002.
 - “MEASUREMENT OF THE HIGGS SELFCOUPPLING AT JLC”. By Y.Yasui, S.Kiyoura, S.Kanemura, K.Odagiri, Y.Okada, E.Senaha, S. Yamashita hep-ph/0211047. To appear in the proceedings of LCWS 2002, Jeju Island, Korea, 26-30 Aug 2002.
 - 「 SiC 半導体検出器による放射線検出 」 木下明将 平成 14 年度 岡山大学 VBL 研究年報
 - “A RADIATION DAMAGE TEST FOR DOUBLE-SIDED SILICON STRIP DETECTORS” Y. Iwata et al., Nucl.Instrum.Meth.A489: 114-120,2002
 - “BEAMTEST OF NONIRRADIATED AND IRRADIATED ATLAS SCT MICROSTRIP MODULES AT KEK” Y. Unno, Y. Iwata, et al., IEEE Trans.Nucl.Sci.49:1868-1875,2002
 - “BEAM STUDY OF IRRADIATED ATLAS-SCT PROTOTYPES” T. Akimoto, Y. Iwata et al., Nucl.Instrum.Meth.A485:67-72,2002
 - “DEVELOPMENT OF THE HYBRID STRUCTURE FOR THE BARREL MODULE OF THE ATLAS SILICON MICROSTRIP TRACKER” T. Kohriki, Y. Iwata et al., IEEE Trans.Nucl.Sci.49:3278-3283,2002
 - “CONSTRUCTION AND PERFORMANCE OF THE ATLAS SILICON MICROSTRIP BARREL MODULES” T. Kondo, Y. Iwata et al., Nucl.Instrum.Meth.A485:27-42,2002
 - ”Scintillating-fiber-block detector for the study of double-strangeness nuclei”, H. Takahashi, A.Ichikawa, K. Imai, K. Nakazawa, T. Yoshida et al., Nucl. Instr. and Meth. A 483 (2002) 689-697.

- "A prototype avalanche photodiode array for scintillating-fiber tracking detectors", T. Yoshida, T. Sora, Nucl. Instr. and Meth A 534 (2004) 397-402.
- 「新しい放射線飛跡検出システムの構築」, 吉田拓生, Isotope News 2005 年 2 月号, No.610, pp.2-5 (日本アイソトープ協会編集・発行).
- "Recent Progress in the Pulse-Power Technology for High-Energy Accelerators in Japan", K. Takayama, M.Akemoto, and E.Nakamura, KEK Preprint 2003-57 (2003), submitted to Proc. of IEEE.
- "Beam-dynamical Effects of the Droop in an Induction Accelerating Voltage", Y.Shimosaki, W.Nakamura, K. Takayama, and K.Torikai, KEK Preprint 2003-50 (2003), submitted to Phys. Rev. ST-AB
- "誘導加速シンクロトロン の概要と SI サイリスタの役割", 高山 健, 第 16 回 SI デバイスシンポジウム講演論文集, (2003)
- "R&D Works on 1MHz Power Modulator for Induction Synchrotron", K.Koseki et al., Proc. of 2003 Particle Accelerator Conference, ROAC011 (2003).
- "Design Study of 1 MHz Induction Cavity for Induction Synchrotron", K.Torikai et al., Proc. of 2003 Particle Accelerator Conference, TPPB079 (2003).
- "A POP Experiment Scenario of Induction Synchrotron at the KEK 12GeV-PS", K. Takayama et al., Proc. of 2003 Particle Accelerator Conference, TPPB093 (2003)
- "Induction acceleration looks to the future. It was a milestone event in the history of induction accelerators when more than 55 experts assembled at KEK in October 2002 for an international workshop on Recent Progress in Induction Accelerators - RPIA2002.", K. Takayama, CERN Courier April Issue, 2003.
- "Collective Instability of a Super-bunch", T.Toyama and K. Takayama, in Proc. of RPIA2002, 148 (2003). Y.Shimosaki, "Beam-beam Effects in Inclined Super-bunch Crossing", in Proc. of RPIA2002, 126 (2003).
- "High Repetition Rate Pulse Generator for Indction synchotron", K.Koseki, K. Takayama, J.Kishiro, in Proc. of RPIA2002, 82 (2003).
- "Magnetic Core Studies and Beam Loading Effects for Repetitive Induction Modulator", M.Watanabe, T.Katayama, M.Nkajima, K.Horioka, K. Takayama, and J.Kishiro, in Proc. of RPIA2002, 74 (2003).
- "High Repetition Rate Induction Cavity", K.Torikai, in Proc. of RPIA2002, 70 (2003).
- "62-Tev Center of Mass Hadron Collider with Superbunch Beams", R. Yamada, K. Takayama, J.Kishiro, M.Wake, T.Toyama, E.Nakamura, Y.Shimosaki, M.Watanabe, in Proc. of RPIA2002, 47 (2003).

- "Super-bunch Hadron Colliders", K. Takayama, in Proc. of RPIA2002, 39 (2003).
- "Induction Synchrotron and a POP Experiment in the KEK 12GeV-PS", J.Kishiro, K. Takayama, K.Koseki, E.Nakamura, M.Sakuda, Y.Shimosaki, T.Toyama, M.Wake, K.Horioka, M.Nakajima, M.Watanabe in Proc. of RPIA2002, 30 (2003).
- "Induction Synchrotron and a POP Experiment in the KEK 12GeV-PS", J.Kishiro, K. Takayama, K.Koseki, E.Nakamura, M.Sakuda, Y.Shimosaki, T.Toyama, M.Wake, K.Horioka, M.Nakajima, M.Watanabe in Proc. of RPIA2002, 30 (2003).
- "Magnetic Core Characteristics for High Reo-rate Induction Modulator", M.Watanabe, M.Nakajima, M.Shiho, J.Kishiro, K. Takayama, and K.Horioka, Review of Scientific Instruments 73, pp1756-1760 (2002).
- "Induction Accelerating Devices for Induction Synchrotrons and the Superbunch VLHC", K. Takayama, J.Kishiro, E.Nakamura, S.Arakawa, K.Koseki, T.Hatano, K.Iida, Y.Imanishi, T.Sakuma, N.Shimizu, in Proceedings of EPAC2002, 1001-1003 (2002).
- "Superbunch Acceleration and its Applications", K. Takayama, J.Kishiro, K.Koseki, E.Nakamura, M.Sakuda, Y.Shimosaki, K.Torikai, T.Toyama, M.Wake, in Proceedings of EPAC2002, 998-1000 (2002).
- "Summary Report", K. Takayama, and C.Ankenbrandt, Proc. Of 20th ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High Intensity and High Brightness Hadron Beams ICFA-HB2002 (8-12 April 2002, FNAL), 219 .
- "Superbunch Hadron Colliders", K. Takayama, J.Kishiro, M.Sakuda, Y.Shimosaki, and M.Wake, Phys. Rev. Lett.88,144801 (2002).
- "Higgs in supersymmetric seesaw", T. Morozumi 素粒子論研究, 広島ヒグス研究会 2005-2006 (2 0 0 6 年 9 月号 (Vol. 1 1 3 No. 6) に掲載予定)
- "Cosmological family asymmetry and CP violation", T. Fujihara, S.Kaneko, S.K. Kang, C.S.Kim, D. Kimura, and T. Morozumi Phys. Rev. D. 73:074011,2006
- "Low scale Seesaw model and lepton flavor violating rare B decays", Phys. Rev. D.72:016006, 2005 T. Fujihara, S.K. Kang, C.S.Kim, D. Kimura, and T. Morozumi
- "Mass eigenstates and mass eigenvalues of seesaw", T. Morozumi In " CP violation and the Flavor Puzzle", Symposium in Honor of Gustavo Branco(GustavoFest2005) P113-P118 ISBN 83-919954-1-0, 2006
- "A new baryogenesis for baryogenesis living through electroweak era", H. D. Kim, J. E. Kim, and T. Morozumi Physics Letters B 616 (2005) 108-113.
- "Unravelling Soft Components in the Shape Function for Inclusive B Decays", H. Kawamura, J. Kodaira et.al. Progress of Theoretical Physics 113 (2005) 183-198.

- "Soft Gluon Effects in Transversely Polarized Drell-Yan Process.", H. Kawamura, J. Kodaira et.al. Nuclear Physics B (Proc. Suppl.) 135 (2005) 19-23.
- " B Meson Structure Function in the Heavy Quark Limit", H. Kawamura, J. Kodaira et.al. Nuclear Physics B (Proc. Suppl.) 135 (2004) 56-60.
- "Radiation qualification of Electronics Components used for the ATLAS Level 1 Muon End-cap Trigger System", R.Ichimiya, S.Tsuji, C. Fukunaga, O. Sasaki et al., IEEE Transaction of Nuclear Science 52 pp.1061-1066

- A02 計画, A02 公募

-
- R. Abe, H. Aihara et al., "Status of The Belle SVD Detector," Nucl. Instrum. Meth. A **478**, 296 (2002).
- H. Aihara, "Results from the current experiments: BaBar, Belle, CLEO," Eur. Phys. J. directC **4S1**, 27 (2002).
- J. Kaneko, H. Aihara et al., "Improvement Of Radiation Hardness Of Double-Sided Silicon Strip Detector IEEE Trans. Nucl. Sci. **49**, 1593 (2002).
- K. Hara, H. Aihara et al. [Belle Collaboration], "Measurement Of The B0 Anti-B0 Mixing Parameter Delta(M(D)) Using Phys. Rev. Lett. **89**, 251803 (2002).
- K. Abe, H. Aihara et al. [Belle Collaboration], "Study of three-body charmless B decays," Phys. Rev. D **65**, 092005 (2002) [arXiv:hep-ex/0201007].
- K. Abe, H. Aihara et al. [BELLE Collaboration], "Precise measurement of B meson lifetimes with hadronic decay final Phys. Rev. Lett. **88**, 171801 (2002) [arXiv:hep-ex/0202009].
- K. Abe, H. Aihara et al. [Belle Collaboration], "Observation of B+- → p anti-p K+-," Phys. Rev. Lett. **88**, 181803 (2002) [arXiv:hep-ex/0202017].
- K. Abe, H. Aihara et al. [Belle Collaboration], "Observation of mixing-induced CP violation in the neutral B meson system," Phys. Rev. D **66**, 032007 (2002) [arXiv:hep-ex/0202027].
- K. Abe, H. Aihara et al. [Belle Collaboration], "Observation of chi/c2 production in B meson decay," Phys. Rev. Lett. **89**, 011803 (2002) [arXiv:hep-ex/0202028].
- K. Abe, H. Aihara et al. [Belle Collaboration], "Search for charmless two-body baryonic decays of B mesons," Phys. Rev. D **65**, 091103 (2002) [arXiv:hep-ex/0203027].
- K. Abe, H. Aihara et al. [Belle Collaboration], "Study of CP-violating asymmetries in B0 → pi+ pi- decays," Phys. Rev. Lett. **89**, 071801 (2002) [arXiv:hep-ex/0204002].

- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Measurements of branching fractions and decay amplitudes in $B \rightarrow J/\psi K^*$ decays,” *Phys. Lett. B* **538**, 11 (2002) [arXiv:hep-ex/0205021].
- S. Nishida *et al.* [Belle Collaboration], “Radiative B meson decays into K pi gamma and K pi pi gamma final states,” *Phys. Rev. Lett.* **89**, 231801 (2002) [arXiv:hep-ex/0205025].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of anti-B0 $\rightarrow D^{(*)0} p$ anti-p,” *Phys. Rev. Lett.* **89**, 151802 (2002) [arXiv:hep-ex/0205083].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Measurement of χ/c^2 production in two-photon collisions,” *Phys. Lett. B* **540**, 33 (2002) [arXiv:hep-ex/0205100].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of double c anti-c production in $e^+ e^-$ annihilation at $s^{*(1/2)}$ approx. 10.6-GeV,” *Phys. Rev. Lett.* **89**, 142001 (2002) [arXiv:hep-ex/0205104].
- S. K. Choi *et al.* [BELLE collaboration], “Observation of the $\eta/c(2S)$ in exclusive $B \rightarrow K K(S) K^- \pi^+$ decays,” *Phys. Rev. Lett.* **89**, 102001 (2002) [Erratum-ibid. **89**, 129901 (2002)] [arXiv:hep-ex/0206002].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of the decay $B^0 \rightarrow D^+ D^{*-}$,” *Phys. Rev. Lett.* **89**, 122001 (2002) [arXiv:hep-ex/0206014].
- A. Gordon *et al.* [Belle Collaboration], “Study of $B \rightarrow \rho \pi$ decays at Belle,” *Phys. Lett. B* **542**, 183 (2002) [arXiv:hep-ex/0207007].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle collaboration], “Studies of the decay $B^+ \rightarrow D(CP) K^+$,” *Phys. Rev. Lett.* **90**, 131803 (2003) [arXiv:hep-ex/0207012].
- R. S. Lu *et al.*, “Observation of $B^+ \rightarrow \omega K^+$ decay,” *Phys. Rev. Lett.* **89**, 191801 (2002) [arXiv:hep-ex/0207019].
- T. Tomura *et al.* [Belle Collaboration], “Measurement of the oscillation frequency for B^0 - anti- B^0 mixing using hadronic B^0 decays. ((B)),” *Phys. Lett. B* **542**, 207 (2002) [arXiv:hep-ex/0207022].
- K. F. Chen *et al.*, “Measurement of CP-violating parameters in $B \rightarrow \eta' K$ decays. ((B)),” *Phys. Lett. B* **546**, 196 (2002) [arXiv:hep-ex/0207033].
- A. Drutskoy *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of B to $D^{(*)} K^- K^{(*)0}$ decays,” *Phys. Lett. B* **542**, 171 (2002) [arXiv:hep-ex/0207041].
- K. Hara *et al.* [Belle Collaboration], “Measurement of the B^0 - anti- B^0 mixing parameter $\Delta(m(d))$ using semileptonic B^0 decays. ((B)),” *Phys. Rev. Lett.* **89**, 251803 (2002) [arXiv:hep-ex/0207045].

- P. Krokovny *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of D/s+ K- and evidence for D/s+ pi- final states in neutral B decays. ((B)),” Phys. Rev. Lett. **89**, 231804 (2002) [arXiv:hep-ex/0207077].
- B. C. K. Casey *et al.* [Belle Collaboration], “Charmless hadronic two-body B meson decays,” Phys. Rev. D **66**, 092002 (2002) [arXiv:hep-ex/0207090].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “An improved measurement of mixing-induced CP violation in the neutral B meson system. ((B)),” Phys. Rev. D **66**, 071102 (2002) [arXiv:hep-ex/0208025].
- J. Kaneko *et al.* [Belle Collaboration], “Measurement of the electroweak penguin process $B \rightarrow X/s l^+ l^-$. ((B)),” Phys. Rev. Lett. **90**, 021801 (2003) [arXiv:hep-ex/0208029].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Measurement of the inclusive semileptonic branching fraction of B mesons and $-V(cb)-$. ((B)),” Phys. Lett. B **547**, 181 (2002) [arXiv:hep-ex/0208033].
- N. Gabyshev *et al.* [Belle Collaboration], “Study of exclusive B decays to charmed baryons at Belle. ((B)),” Phys. Rev. D **66**, 091102 (2002) [arXiv:hep-ex/0208041].
- F. Fang *et al.*, “Measurement of branching fractions for $B \rightarrow \eta/c K^{(*)}$ decays,” Phys. Rev. Lett. **90**, 071801 (2003) [arXiv:hep-ex/0208047].
- A. Satpathy *et al.* [Belle Collaboration], “Study of anti-B0 $\rightarrow D^{(*)0} \pi^+ \pi^-$ decays,” Phys. Lett. B **553**, 159 (2003) [arXiv:hep-ex/0211022].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [BELLE Collaboration], “Measurement of branching fractions and charge asymmetries for two-body B meson decays with charmonium,” Phys. Rev. D **67**, 032003 (2003) [arXiv:hep-ex/0211047].
- N. C. Hastings *et al.* [Belle Collaboration], “Studies of B0 anti-B0 mixing properties with inclusive dilepton events,” Phys. Rev. D **67**, 052004 (2003) [arXiv:hep-ex/0212033].
- N. Gabyshev *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of anti-B0 $\rightarrow \Lambda_b/c^+ \text{ anti-p}$ decay,” Phys. Rev. Lett. **90**, 121802 (2003) [arXiv:hep-ex/0212052].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [BELLE Collaboration], “Study of time-dependent CP-violating asymmetries in $b \rightarrow s \text{ anti-q q}$ decays. ((B)),” Phys. Rev. D **67**, 031102 (2003) [arXiv:hep-ex/0212062].
- P. Krokovny *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of anti-B0 to D0 anti-K0 and anti-B0 $\rightarrow D0 \text{ anti-K}^*0$ decays,” Phys. Rev. Lett. **90**, 141802 (2003) [arXiv:hep-ex/0212066].
- H. C. Huang *et al.* [Belle Collaboration], “Evidence For $B \rightarrow \Phi \Phi K$,” Phys. Rev. Lett. **91**, 241802 (2003).

- H. Tajima *et al.*, “Proper-time resolution function for measurement of time evolution of B mesons at the KEK B-factory,” Nucl. Instrum. Meth. A **533**, 370 (2004) [arXiv:hep-ex/0301026].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Evidence for CP-violating asymmetries $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ decays and constraints on the CKM angle $\phi(2)$,” Phys. Rev. D **68**, 012001 (2003) [arXiv:hep-ex/0301032].
- M. Z. Wang *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of $B^0 \rightarrow p \Lambda \pi^-$,” Phys. Rev. Lett. **90**, 201802 (2003) [arXiv:hep-ex/0302024].
- S. K. Swain *et al.* [Belle Collaboration], “Measurement of branching fraction ratios and CP asymmetries in $B^{+-} \rightarrow D(\text{CP}) K^{+-}$,” Phys. Rev. D **68**, 051101 (2003) [arXiv:hep-ex/0304032].
- Y. Unno *et al.* [Belle Collaboration], “Improved measurement of the partial-rate CP asymmetry in $B^+ \rightarrow K^0 \pi^+$ and $B^- \rightarrow \bar{K}^0 \pi^-$ decays,” Phys. Rev. D **68**, 011103 (2003) [arXiv:hep-ex/0304035].
- J. Zhang *et al.* [BELLE Collaboration], “Observation of $B^+ \rightarrow \rho^+ \rho^0$,” Phys. Rev. Lett. **91**, 221801 (2003) [arXiv:hep-ex/0306007].
- K. F. Chen *et al.* [Belle Collaboration], “Measurement of branching fractions and polarization in $B \rightarrow \Phi K^*$ decays,” Phys. Rev. Lett. **91**, 201801 (2003) [arXiv:hep-ex/0307014].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Study of $B^- \rightarrow D^{*0} \pi^-$ ($D^{*0} \rightarrow D^{*+} \pi^-$) decays,” Phys. Rev. D **69**, 112002 (2004) [arXiv:hep-ex/0307021].
- K. Abe, H. Aihara *et al.*, “Measurements of the D/s_J resonance properties,” Phys. Rev. Lett. **92**, 012002 (2004) [arXiv:hep-ex/0307052].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of $B^+ \rightarrow \psi(3770) K^+$,” Phys. Rev. Lett. **93**, 051803 (2004) [arXiv:hep-ex/0307061].
- A. Garmash *et al.* [Belle Collaboration], “Study of B meson decays to three-body charmless hadronic final states,” Phys. Rev. D **69**, 012001 (2004) [arXiv:hep-ex/0307082].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Measurement of the $e^+ e^- \rightarrow D^{*+} D^{*-}$ cross-sections,” Surveys High Energ. Phys. **18**, 221 (2003) [arXiv:hep-ex/0307084].
- P. Krokovny *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of the $D/s_J(2317)$ and $D/s_J(2457)$ in B decays,” Phys. Rev. Lett. **91**, 262002 (2003) [arXiv:hep-ex/0308019].
- **K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Measurement of time-dependent CP-violating asymmetries in $B^0 \rightarrow \Phi K^0(S)$, $K^+ K^- K^0(S)$, and $\eta' K^0(S)$ decays,” Phys. Rev. Lett. **91**, 261602 (2003) [arXiv:hep-ex/0308035].**

- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of radiative decay $D^0 \rightarrow \text{Phi gamma}$,” *Phys. Rev. Lett.* **92**, 101803 (2004) [arXiv:hep-ex/0308037].
- S. Nishida *et al.* [BELLE Collaboration], “Measurement of the CP asymmetry in $B \rightarrow X/s \text{ gamma}$,” *Phys. Rev. Lett.* **93**, 031803 (2004) [arXiv:hep-ex/0308038].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Evidence for $B^0 \rightarrow \text{pi}^0 \text{ pi}^0$,” *Phys. Rev. Lett.* **91**, 261801 (2003) [arXiv:hep-ex/0308040].
- A. Ishikawa *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of the electroweak penguin decay $B \text{ to } K^* l^+ l^-$,” *Phys. Rev. Lett.* **91**, 261601 (2003) [arXiv:hep-ex/0308044].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [BELLE Collaboration], “Study of CP violating effects in time dependent $B^0 \text{ (anti-}B^0) \rightarrow D^{(*)-} \text{ pi}^+ \text{ pi}^-$ decays,” *Phys. Rev. Lett.* **93**, 031802 (2004) [Erratum-*ibid.* **93**, 059901 (2004)] [arXiv:hep-ex/0308048].
- A. Drutskoy *et al.* [BELLE Collaboration], “Observation of radiative $B \rightarrow \text{Phi } K \text{ gamma}$ decays,” *Phys. Rev. Lett.* **92**, 051801 (2004) [arXiv:hep-ex/0309006].
- S. K. Choi *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of a new narrow charmonium state in exclusive $B^{+-} \rightarrow K^{+-} \text{ pi}^+ \text{ pi}^- J/\psi$ decays,” *Phys. Rev. Lett.* **91**, 262001 (2003) [arXiv:hep-ex/0309032].
- S. L. Zang *et al.* [BELLE Collaboration], “Search for $B^- \rightarrow J/\psi \text{ Lambda anti-p}$ decay,” *Phys. Rev. D* **69**, 017101 (2004) [arXiv:hep-ex/0309060].
- M. C. Chang *et al.* [BELLE Collaboration], “Search for $B^0 \rightarrow l^+ l^-$ at Belle,” *Phys. Rev. D* **68**, 111101 (2003) [arXiv:hep-ex/0309069].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Measurement of $K^+ K^-$ production in two-photon collisions in the resonant-mass region,” *Eur. Phys. J. C* **32**, 323 (2003) [arXiv:hep-ex/0309077].
- M. Z. Wang *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of $B^+ \rightarrow p \text{ anti-p pi}^+$, $B^0 \text{ to } p \text{ anti-p } K^0$, and $B^+ \text{ to } p \text{ anti-p } K^{*+}$,” *Phys. Rev. Lett.* **92**, 131801 (2004) [arXiv:hep-ex/0310018].
- H. Kakuno *et al.* [BELLE Collaboration], “Measurement of $—V(\text{ub})—$ using inclusive $B \rightarrow X/u \text{ l nu}$ decays with a novel X/u reconstruction method,” *Phys. Rev. Lett.* **92**, 101801 (2004) [arXiv:hep-ex/0311048].
- Y. Chao *et al.* [Belle Collaboration], “Improved measurements of branching fractions for $B \rightarrow K \text{ pi}$, pi pi and $K \text{ anti-K}$ decays,” *Phys. Rev. D* **69**, 111102 (2004) [arXiv:hep-ex/0311061].
- T. Ziegler *et al.*, “The Belle trigger system with the new silicon vertex detector SVD2,” *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **51**, 1852 (2004).

- H. Ishino *et al.*, “The data acquisition system of the Belle silicon vertex detector (SVD) upgrade,” *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **51**, 2064 (2004).
- H. Aihara, “Results from B-factories and perspectives,” *Czech. J. Phys.* **54**, A311 (2004).
- R. Abe *et al.*, “BELLE/SVD2 status and performance,” *Nucl. Instrum. Meth. A* **535**, 379 (2004).
- R. Abe *et al.*, “The new beampipe for the Belle experiment,” *Nucl. Instrum. Meth. A* **535**, 558 (2004).
- **K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of large CP violation and evidence for direct CP violation in $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ decays,” *Phys. Rev. Lett.* **93**, 021601 (2004) [arXiv:hep-ex/0401029].**
- T. Uglov *et al.* [BELLE Collaboration], “Measurement of the $e^+ e^- \rightarrow D^{(*)+} D^{(*)-}$ cross-sections,” *Phys. Rev. D* **70**, 071101 (2004) [arXiv:hep-ex/0401038].
- C. Schwanda *et al.* [Belle Collaboration], “Evidence for $B^+ \rightarrow \omega \ell^+ \nu$,” *Phys. Rev. Lett.* **93**, 131803 (2004) [arXiv:hep-ex/0402023].
- M. Nakao *et al.* [BELLE Collaboration], “Measurement of the $B \rightarrow K^* \gamma$ branching fractions and asymmetries,” *Phys. Rev. D* **69**, 112001 (2004) [arXiv:hep-ex/0402042].
- M. Friedl *et al.* [Belles SVD Group], “Readout, First- and Second-Level Triggers of the new Belle Silicon Vertex Detector,” *Nucl. Instrum. Meth. A* **535**, 491 (2004).
- P. Koppenburg *et al.* [Belle Collaboration], “An inclusive measurement of the photon energy spectrum in $b \rightarrow s \gamma$ decays,” *Phys. Rev. Lett.* **93**, 061803 (2004) [arXiv:hep-ex/0403004].
- C. H. Wang *et al.* [Belle Collaboration], “Measurement of the branching fractions for $B \rightarrow \omega K$ and $B \rightarrow \omega \pi$,” *Phys. Rev. D* **70**, 012001 (2004) [arXiv:hep-ex/0403033].
- J. Dragic *et al.* [BELLE Collaboration], “Evidence of $B^0 \rightarrow \rho^0 \pi^0$,” *Phys. Rev. Lett.* **93**, 131802 (2004) [arXiv:hep-ex/0405068].
- J. Zhang *et al.* [BELLE Collaboration], “Measurement of branching fraction and CP asymmetry in $B^+ \rightarrow \rho^+ \pi^0$,” *Phys. Rev. Lett.* **94**, 031801 (2005) [arXiv:hep-ex/0406006].
- A. Poluektov *et al.* [Belle Collaboration], “Measurement of $\phi(3)$ with Dalitz plot analysis of $B^{+-} \rightarrow D^{(*)} K^{+-}$ decay,” *Phys. Rev. D* **70**, 072003 (2004) [arXiv:hep-ex/0406067].
- Y. J. Lee *et al.* [BELLE Collaboration], “Observation of $B^+ \rightarrow \Lambda \bar{\Lambda} K^+$,” *Phys. Rev. Lett.* **93**, 211801 (2004) [arXiv:hep-ex/0406068].
- P. Chang *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of the decays $B^0 \rightarrow K^+ \pi^- \pi^0$ and $B^0 \rightarrow \rho^- K^+$,” *Phys. Lett. B* **599**, 148 (2004) [arXiv:hep-ex/0406075].

- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Study of double charmonium production in $e^+ e^-$ annihilation at $s^{*(1/2)}$ approx. 10.6-GeV,” *Phys. Rev. D* **70**, 071102 (2004) [arXiv:hep-ex/0407009].
- Y. Chao *et al.* [BELLE Collaboration], “Improved measurements of partial rate asymmetry in $B \rightarrow h h$ decays,” *Phys. Rev. D* **71**, 031502 (2005) [arXiv:hep-ex/0407025].
- C. C. Wang *et al.* [Belle Collaboration], “Study of $B_0 \rightarrow \rho^+ \pi^+$ time-dependent CP violation at Belle,” *Phys. Rev. Lett.* **94**, 121801 (2005) [arXiv:hep-ex/0408003].
- T. Aushev *et al.* [BELLE Collaboration], “Search for CP violation in the decay $B_0 \rightarrow D^{*+} D^-$,” *Phys. Rev. Lett.* **93**, 201802 (2004) [arXiv:hep-ex/0408051].
- **Y. Chao *et al.* [Belle Collaboration], “Evidence for direct CP violation in B_0 to $K^+ \pi^-$ decays,” *Phys. Rev. Lett.* **93**, 191802 (2004) [arXiv:hep-ex/0408100].**
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of $B_0 \rightarrow \pi^0 \pi^0$,” *Phys. Rev. Lett.* **94**, 181803 (2005) [arXiv:hep-ex/0408101].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [BELLE-Collaboration], “Measurements of branching fractions and polarization in $B \rightarrow K^* \rho$ decays,” *Phys. Rev. Lett.* **95**, 141801 (2005) [arXiv:hep-ex/0408102].
- S. U. Kataoka *et al.* [Belle Collaboration], “Study of time-dependent CP violation in $B_0 \rightarrow J/\psi \pi^0$ decays,” *Phys. Rev. Lett.* **93**, 261801 (2004) [arXiv:hep-ex/0408105].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [BELLE Collaboration], “Time-dependent CP violation effects in partially reconstructed $B \rightarrow D^* \pi$ decays,” *Phys. Lett. B* **624**, 11 (2005) [arXiv:hep-ex/0408106].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [BELLE Collaboration], “Improved measurement of CP-violation parameters $\sin(2\phi(1))$ and $-\lambda$, B meson lifetimes, and B_0 anti- B_0 mixing parameter $\Delta(m(d))$,” *Phys. Rev. D* **71**, 072003 (2005) [Erratum-ibid. *D* **71**, 079903 (2005)] [arXiv:hep-ex/0408111].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [BELLE Collaboration], “Search for D_0 anti- D_0 mixing in $D_0 \rightarrow K^+ \pi^-$ decays and measurement of the doubly-Cabibbo-suppressed decay rate,” *Phys. Rev. Lett.* **94**, 071801 (2005) [arXiv:hep-ex/0408125].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of a near-threshold omega J/ψ mass enhancement in exclusive $B \rightarrow K \omega J/\psi$ decays,” *Phys. Rev. Lett.* **94**, 182002 (2005) [arXiv:hep-ex/0408126].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [BELLE Collaboration], “Search for $B_0 \rightarrow p \text{ anti-}p$, Λ $\text{Anti-}\Lambda$ and $B^+ \rightarrow p \text{ Anti-}\Lambda$ at Belle,” *Phys. Rev. D* **71**, 072007 (2005) [arXiv:hep-ex/0408143].

- G. Majumder *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of $B^0 \rightarrow D^{*-} (5\pi)^+$, $B^+ \rightarrow D^{*-} (4\pi)^+$ and $B^+ \rightarrow \text{anti-}D^{*0} (5\pi)^+$,” *Phys. Rev. D* **70**, 111103 (2004) [arXiv:hep-ex/0409008].
- T. Lesiak *et al.* [BELLE Collaboration], “Measurement of masses and branching ratios of Ξ/c^+ and Ξ/c^0 baryons,” *Phys. Lett. B* **605**, 237 (2005) [Erratum-ibid. *B* **617**, 198 (2005)] [arXiv:hep-ex/0409065].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of the $D_1(2420) \rightarrow D \pi^+ \pi^-$ decays,” *Phys. Rev. Lett.* **94**, 221805 (2005) [arXiv:hep-ex/0410091].
- S. Nishida *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of $B^+ \rightarrow K^+ \eta \gamma$,” *Phys. Lett. B* **610**, 23 (2005) [arXiv:hep-ex/0411065].
- T. Okabe *et al.*, “Spectra of prompt electrons from decays of B^+ and B^0 mesons and ratio of inclusive semielectronic branching fractions,” *Phys. Lett. B* **614**, 27 (2005) [arXiv:hep-ex/0411066].
- M. Saigo *et al.*, “Study of the suppressed decays $B^- \rightarrow (K^+ \pi^-)(D^-) K^-$ and $B^- \rightarrow (K^+ \pi^-)(D^-) \pi^-$,” *Phys. Rev. Lett.* **94**, 091601 (2005) [arXiv:hep-ex/0412025].
- H. Yang *et al.*, “Observation of $B^+ \rightarrow K_1(1270)^+ \gamma$,” *Phys. Rev. Lett.* **94**, 111802 (2005) [arXiv:hep-ex/0412039].
- P. Chang *et al.* [Belle Collaboration], “Measurements of branching fractions and CP asymmetries in $B \rightarrow \eta h$ decays,” *Phys. Rev. D* **71**, 091106 (2005) [arXiv:hep-ex/0412043].
- H. Nakazawa *et al.* [BELLE Collaboration], “Measurement of the $\gamma \gamma \rightarrow \pi^+ \pi^-$ and $\gamma \gamma \rightarrow K^+ K^-$ processes at energies of 2.4-GeV - 4.1-GeV,” *Phys. Lett. B* **615**, 39 (2005) [arXiv:hep-ex/0412058].
- A. Garmash *et al.* [BELLE Collaboration], “Dalitz analysis of the three-body charmless decays $B^+ \rightarrow K^+ \pi^+ \pi^-$ and $B^+ \rightarrow K^+ K^+ K^-$,” *Phys. Rev. D* **71**, 092003 (2005) [arXiv:hep-ex/0412066].
- R. Mizuk *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of an isotriplet of excited charmed baryons decaying to $\Lambda_b/c^+ \pi^-$,” *Phys. Rev. Lett.* **94**, 122002 (2005) [arXiv:hep-ex/0412069].
- A. Drutskoy *et al.* [Belle Collaboration], “Observation Of Anti- $B^0 \rightarrow D^*(S_j)(2317)^+ K^-$ Decay,” *Phys. Rev. Lett.* **94**, 061802 (2005).
- R. Stamen *et al.*, “Status of the Belle Silicon Vertex Detector,” *Nucl. Instrum. Meth. A* **541**, 61 (2005).
- T. Tsuboyama *et al.*, “The Silicon Vertex Detector for the super B factory,” *Nucl. Instrum. Meth. A* **541**, 421 (2005).

- G. Majumder *et al.* [Belle Collaboration], “Evidence for $B^0 \rightarrow D^+ D^-$ and observation of $B^- \rightarrow D^0 D^-$ and $B^- \rightarrow D^0 D^{*-}$ decays,” *Phys. Rev. Lett.* **95**, 041803 (2005).
- T. Ziegler *et al.*, “The Improved Ladder Production For The Belle Silicon Vertex Detector (Svd2.1),” *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **52**, 1907 (2005).
- J. Schumann *et al.* [BELLE Collaboration], “Observation of anti- B^0 to $D^0 \eta'$ and anti- $B^0 \rightarrow D^{*0} \eta'$,” *Phys. Rev. D* **72**, 011103 (2005) [arXiv:hep-ex/0501013].
- H. Miyake *et al.* [Belle Collaboration], “Branching fraction, polarization and CP-violating asymmetries in $B^0 \rightarrow D^{*+} D^{*-}$ decays,” *Phys. Lett. B* **618**, 34 (2005) [arXiv:hep-ex/0501037].
- **K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Improved evidence for direct CP violation in $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ decays and model-independent constraints on $\phi(2)$,” *Phys. Rev. Lett.* **95**, 101801 (2005) [arXiv:hep-ex/0502035].**
- C. C. Kuo *et al.*, “Measurement of $\gamma \gamma \rightarrow p \bar{p}$ production at Belle,” *Phys. Lett. B* **621**, 41 (2005) [arXiv:hep-ex/0503006].
- Y. Ushiroda *et al.*, “New measurement of time-dependent CP-violating asymmetry in $B^0 \rightarrow K^0(S) \pi^0 \gamma$ decay,” *Phys. Rev. Lett.* **94**, 231601 (2005) [arXiv:hep-ex/0503008].
- K. F. Chen *et al.* [BELLE Collaboration], “Measurement of polarization and triple-product correlations in $B \rightarrow \Phi K^*$ decays,” *Phys. Rev. Lett.* **94**, 221804 (2005) [arXiv:hep-ex/0503013].
- K. Sumisawa *et al.*, “Measurement of time-dependent CP-violating asymmetries in $B^0 \rightarrow K^0(S) K^0(S) K^0(S)$ decay,” *Phys. Rev. Lett.* **95**, 061801 (2005) [arXiv:hep-ex/0503023].
- L. M. Zhang *et al.* [Belle Collaboration], “Search for B^0 to J/ψ anti- D^0 and $B^+ \rightarrow J/\psi$ anti- $D^0 \pi^+$ decays,” *Phys. Rev. D* **71**, 091107 (2005) [arXiv:hep-ex/0503037].
- **M. Iwasaki *et al.* [Belle Collaboration], “Improved measurement of the electroweak penguin process $B \rightarrow X/s l^+ l^-$,” *Phys. Rev. D* **72**, 092005 (2005) [arXiv:hep-ex/0503044].**
- Y. J. Lee *et al.*, “Observation of $B^+ \rightarrow p \bar{\Lambda} \gamma$,” *Phys. Rev. Lett.* **95**, 061802 (2005) [arXiv:hep-ex/0503046].
- M. Z. Wang *et al.*, “Study of the baryon antibaryon low-mass enhancements in charmless three-body baryonic B decays,” *Phys. Lett. B* **617**, 141 (2005) [arXiv:hep-ex/0503047].
- K. F. Chen *et al.* [Belle Collaboration], “Time-dependent CP-violating asymmetries in $b \rightarrow s \bar{q} q$ transitions,” *Phys. Rev. D* **72**, 012004 (2005) [arXiv:hep-ex/0504023].
- R. Itoh *et al.* [Belle Collaboration], “Studies of CP violation in $B \rightarrow J/\psi K^*$ decays,” *Phys. Rev. Lett.* **95**, 091601 (2005) [arXiv:hep-ex/0504030].

- A. Limosani *et al.* [Belle Collaboration], “Measurement of inclusive charmless semileptonic B-meson decays at the endpoint of the electron momentum spectrum,” *Phys. Lett. B* **621**, 28 (2005) [arXiv:hep-ex/0504046].
- E. Nakano *et al.* [Belle Collaboration], “Charge asymmetry of same-sign dileptons in B0 - anti-B0 mixing,” *Phys. Rev. D* **73**, 112002 (2006) [arXiv:hep-ex/0505017].
- I. Bizjak *et al.* [Belle Collaboration], “Measurement of the inclusive charmless semileptonic partial branching fraction of B mesons and determination of $|V(ub)|$ using the full reconstruction tag,” *Phys. Rev. Lett.* **95**, 241801 (2005) [arXiv:hep-ex/0505088].
- D. Mohapatra *et al.* [Belle Collaboration], “Search for the $b \rightarrow d$ gamma process,” *Phys. Rev. D* **72**, 011101 (2005) [arXiv:hep-ex/0505097].
- R. Seuster *et al.* [Belle Collaboration], “Charm hadrons from fragmentation and B decays in $e^+ e^-$ annihilation at $s^{*}(1/2) = 10.6\text{-GeV}$,” *Phys. Rev. D* **73**, 032002 (2006) [arXiv:hep-ex/0506068].
- K. Abe, H. Aihara *et al.*, “Observation of $b \rightarrow d$ gamma and determination of $|V(td)|/|V(ts)|$,” *Phys. Rev. Lett.* **96**, 221601 (2006) [arXiv:hep-ex/0506079].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [BELLE Collaboration], “Measurements of B decays to two kaons,” *Phys. Rev. Lett.* **95**, 231802 (2005) [arXiv:hep-ex/0506080].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Search for the $\Theta(1540)^+$ pentaquark using kaon secondary interactions at Belle,” *Phys. Lett. B* **632**, 173 (2006) [arXiv:hep-ex/0507014].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Search for D0 anti-D0 mixing using semileptonic decays at Belle,” *Phys. Rev. D* **72**, 071101 (2005) [arXiv:hep-ex/0507020].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Search for the decay $B^0 \rightarrow \text{gamma gamma}$,” *Phys. Rev. D* **73**, 051107 (2006) [arXiv:hep-ex/0507036].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [Belle Collaboration], “Measurement of azimuthal asymmetries in inclusive production of hadron pairs in $e^+ e^-$ annihilation at Belle,” *Phys. Rev. Lett.* **96**, 232002 (2006) [arXiv:hep-ex/0507063].
- X. C. Tian *et al.* [Belle Collaboration], “Measurement of the wrong-sign decays $D^0 \rightarrow K^+ \pi^-$ ($\pi^0, \pi^+ \pi^-$) and search for CP violation,” *Phys. Rev. Lett.* **95**, 231801 (2005) [arXiv:hep-ex/0507071].
- Q. L. Xie *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of B- to J/psi Lambda anti-p and searches for B- \rightarrow J/psi Sigma0 anti-p and B0 to J/psi p anti-p decays,” *Phys. Rev. D* **72**, 051105 (2005) [arXiv:hep-ex/0508011].

- N. Soni *et al.* [Belle Collaboration], “Measurement of branching fractions for B to $\chi/c1(2)$ K (K^*) at Belle,” Phys. Lett. B **634**, 155 (2006) [arXiv:hep-ex/0508032].
- D. Liventsev *et al.*, “Measurement of the branching fractions for $B^- \rightarrow D^{(*)+} \pi^- l^- \text{ anti-neutrino-lepton}$ and $\text{anti-}B^0 \rightarrow D^{(*)0} \pi^+ l^- \text{ anti-neutrino-lepton}$,” Phys. Rev. D **72**, 051109 (2005).
- S. Uehara *et al.* [Belle Collaboration], “Observation of a $\chi'/c2$ candidate in $\text{gamma gamma} \rightarrow D \text{ anti-}D$ production at Belle,” Phys. Rev. Lett. **96**, 082003 (2006) [arXiv:hep-ex/0512035].
- A. Garmash *et al.*, “Evidence for large direct CP violation in $B^{+-} \rightarrow \rho(770)^0 K^{+-}$ from analysis of the three-body charmless $B^{+-} \text{ to } K^{+-} \pi^+ \pi^- \pi^+$ decay,” Phys. Rev. Lett. **96**, 251803 (2006) [arXiv:hep-ex/0512066].
- Z. Natkaniec *et al.*, “Status of the Belle silicon vertex detector,” Nucl. Instrum. Meth. A **560**, 1 (2006).
- A. Somov *et al.*, “Measurement of the branching fraction, polarization, and CP asymmetry for $B^0 \text{ to } \rho^+ \rho^-$ decays, and determination of the CKM phase $\phi(2)$,” Phys. Rev. Lett. **96**, 171801 (2006) [arXiv:hep-ex/0601024].
- L. M. Zhang *et al.*, “Improved constraints on D^0 - anti- D^0 mixing in $D^0 \rightarrow K^+ \pi^-$ decays at Belle,” Phys. Rev. Lett. **96**, 151801 (2006) [arXiv:hep-ex/0601029].
- K. Abe, H. Aihara *et al.* [BELLE Collaboration], “Study of $B^{+-} \rightarrow D(\text{CP}) K^{+-}$ and $D^*(\text{CP}) K^{+-}$ decays,” Phys. Rev. D **73**, 051106 (2006) [arXiv:hep-ex/0601032].
- **A. Ishikawa *et al.*, “Measurement of forward-backward asymmetry and Wilson coefficients in $B \rightarrow K^* l^+ l^-$,” Phys. Rev. Lett. **96**, 251801 (2006) [arXiv:hep-ex/0603018].**
- F. J. Ronga *et al.* [BELLE Collaboration], “Measurements of CP violation in $B^0 \rightarrow D^{*-} \pi^+$ and $B^0 \text{ to } D^- \pi^+$ decays,” Phys. Rev. D **73**, 092003 (2006) [arXiv:hep-ex/0604013].
- A. Poluektov *et al.* [Belle Collaboration], “Measurement of $\phi(3)$ with Dalitz plot analysis of $B^+ \rightarrow D^{(*)} K^{(*)+}$ Phys. Rev. D **73**, 112009 (2006) [arXiv:hep-ex/0604054].
- F. Fang *et al.*, “Search for the h/c meson in $B^{+-} \rightarrow h/c K^{+-}$,” Phys. Rev. D **74**, 012007 (2006) [arXiv:hep-ex/0605007].
- J. Dragic *et al.*, “Measurement of branching fraction and direct CP asymmetry in $B^0 \rightarrow \rho^0 \pi^0$ decays,” Phys. Rev. D **73**, 111105 (2006).
- H. Aihara, “Results From The Current Experiments: Babar, Belle, Cleo,” Eur. Phys. J. directC **4S1**, 27 (2002).
- H. Aihara, “Results from B-factories and perspectives,” Czech. J. Phys. **54**, A311 (2004).

- Y. Kurosawa, K. Matsuoka, T. Nakaya, A. Moda, T. Shirai, M. Yokoyama, “ Test of muon monitor prototype for T2K long baseline neutrino experiment. ”, Beam Sci.Technol.10: 3-5 (2005)
- M. Nakao and M. Tanaka IEEE Transactions on Nuclear Science vol.52 pp.1196-1201 2005 ”Serial-Bus Based Trigger Timing Distribution System for SuperBelle”
- A03 計画, A03 公募
 - **“Progress report on Time-Of-Propagation counter - A New type of ring imaging Cherenkov detector”**, **Y. Enari, et al., Nucl. Instr. Meth. A 494, 430-435 (2002).**
 - “R&D report on Fine-mesh Multi-anode PMT with TTS=100ps under $B \leq 1T$ ”, T. Hokuue, et al., Nucl. Instr. Meth. A 494, 436-440 (2002).
 - **“Search for the Electric Dipole Moment of the tau lepton”**, **K. Inami, et al. (Belle Collaboration), Phys. Lett. B 551, 16 (2003).**
 - “Research and Development of TOP Counter”, M. Akatsu, et al., Nucl. Instr. Meth. A 502, (2003).
 - “Test of a proximity focusing RICH with aerogel as radiator”, T. Iijima, I. Adachi, I. Bizjak, A. Gorisek, M. Iwamoto, S. Korpar, P. Krizan, R. Pestotnik, M. Staric, A. Stanovnik, T. Sumiyoshi, K. Suzuki, T. Tabata, Nucl. Instr. and Meth. A 502, 231-235 (2003).
 - **“An Upper Bound on the Decay $\tau \rightarrow \mu\gamma$ from the Belle Detector”**, **T. Ohshima, et al. (Belle Collaboration), Phys. Rev. Lett. 92, 171802 (2004).**
 - “Search for the Lepton-Flavor-Violation Decay $\tau \rightarrow \mu\eta$ at Belle”, Y. Enari, et al. (Belle Collaboration), Phys. Rev. Lett. 93, 081803 (2004).
 - “Studies of Proximity Focusing RICH with an aerogel radiator using Flat-panel multi-anode PMTs (Hamamatsu H8500)”, T. Matsumoto et al, Nucl. Instr. and Meth. A 518, 582-585 (2004).
 - “Search for a high-rate gas mixture in the streamer mode operation”, M. Watanabe, E. Harimoto, E. Nakano, Y. Ieramoto, Nucl. Instr. and Meth. A 533, 50 (2004).
 - **“Search for neutrinoless decays $\tau \rightarrow \ell\ell\ell$ ”**, **Y.Yusa, et al. (Belle Collaboration), Phys. Lett. B 583, 103 (2004).**
 - “Development of a multi-pixel photon sensor with single-photon sensitivity”, M.Suyama, T. Iijima et al., Nucl. Instr. and Meth. A 523, 147 (2004).
 - “Studies of proximity focusing RICH with an aerogel radiator using flat-panel multi-anode PMTs (Hamamatsu H8500)”, T.Matsumoto, T. Iijima et al., Nucl. Instr. and Meth. A 521, 367 (2004).

- “Search for $\tau \rightarrow e\gamma$ decay at Belle”, K.Hayasaka, et al. (Belle Collaboration) Phys. Lett. B 613, 22-28 (2005).
- **“Search for lepton flavor violating decays $\tau \rightarrow \ell\pi^0, \ell\eta, \ell\eta'$ ”, Y. Enari et al, (The Belle Collaboration), Phys. Lett. B 622, 218 (2005).**
- “A novel type of proximity focusing RICH counter with multiple refractive index aerogel radiator”, T. Iijima, S.Korpar et al., Nucl. Instr. and Meth. A 548, 383 (2005).
- “Study of highly transparent silica aerogel as a RICH radiator”, I.Adachi, T. Iijima et al., Nucl. Instr. and Meth. A 553, 146 (2005).
- “Proximity focusing RICH with flat panel PMT as photon detector and aerogel as radiator”, P.Krizan, T. Iijima et al., Nucl. Instr. and Meth. A 553, 58 (2005).
- **“RICH with multiple aerogel layers of different refractive index”, S.Korpar, T. Iijima et al. Nucl. Instr. and Meth. A 553, 64 (2005).**
- “Search for Lepton and Baryon Number Violating τ^- Decays into $\bar{\Lambda}\pi^-$ and $\Lambda\pi^-$ ”, Y. Miyazaki, S. Eidelman,(The Belle Collaboration), Phys. Lett. B 632, 51 (2006).
- **“Search for neutrinoless tau decays $\tau \rightarrow \ell hh$ and ℓV^0 ”, Y.Yusa, et al. (Belle Collaboration), Phys. Lett. B (2006).**
- “Search for lepton flavor violating decay with a K_s meson”, Y.Miyazaki, et al. (Belle Collaboration), Phys. Lett. B 639, 159 (2006).

- A04 計画

- ”New limit on the $K_L^0 \rightarrow \pi^0\nu\bar{\nu}$ decay rate”, J. K. Ahn, T. Inagaki, G.Y.Lim, T.Sato, Y.Sugaya, Y.Tajima, M. Yamaga, T. Yamanaka, et al., Phys. Rev. D 74, 051105(R) (2006).
- ”Neutral beam line to study $K_L^0 \rightarrow \pi^0\nu\bar{\nu}$ decay at the KEK 12-GeV proton Synchrotron”, H. Watanabe, T. Inagaki, G.Y.Lim, T.Sato, Y.Sugaya, Y.Tajima, M. Yamaga, T. Yamanaka et al., Nucl. Instr. and Meth. A 545 (2005) 542-553.
- ”Undoped CsI calorimeter for the $K_L^0 \rightarrow \pi^0\nu\bar{\nu}$ experiment at KEK-PS”, M. Doroshenko, T. Inagaki, G.Y.Lim, T.Sato, Y.Sugaya, Y.Tajima, M.Yamaga, T. Yamanaka et al., Nucl. Instr. and Meth. A 545 (2005) 278-295.
- ”Development of a new photomultiplier with high sensitivity for a wavelength shifter fiber readout.”, M. Itaya, T. Inagaki, G.Y.Lim, et al., Nucl. Instr. and Meth. A 522 (2004) 477-486.

- "Measurement of the photon detection inefficiency of electromagnetic calorimeters at energy below 1 GeV.", S. Ajimura, T. Inagaki, T.Sato, T. Yamanaka et al., Nucl. Instr. and Meth. **A 552** (2005) 263-275.
- "Measurement of Direct Photon Emission in the $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$ Decay Mode", E. Abouzaid, T. Yamanaka et al., Phys. Rev. **D 74**, 032004 (2006).
- "Measurement of the K^0 Charge Radius and a CP Violating Asymmetry and a Search for CP Violating E1 Direct Photon Emission in the Rare Decay $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- e^+ e^-$ ", E. Abouzaid, T. Yamanaka et al., Phys. Rev. Lett. **96**, 101801 (2006).
- "Observation of the Decay $\Xi^0 \rightarrow \Sigma^+ \mu^- \bar{\nu}_\mu$ ", E. Abouzaid, T. Yamanaka et al., Phys. Rev. Lett. **95**, 081801 (2005).
- "Measurements of Branching Fraction and Decay Distributions for $K_L \rightarrow \pi^\pm \mu^\mp \nu \gamma$ and $K_L \rightarrow \pi^\pm e^\mp \nu \gamma$ ", T. Alexopoulos, T. Yamanaka et al., Phys. Rev. **D 71**, 012001 (2005).
- "Measurements of Semileptonic K_L Decay Form Factors", T. Alexopoulos, T. Yamanaka et al., Phys. Rev. **D 70**, 092007 (2004).
- "Measurements of K_L Branching Fractions and the CP Violation Parameter $|\eta_\pm|$ ", T. Alexopoulos, T. Yamanaka et al., Phys. Rev. **D 70**, 092006 (2004).
- "**A Determination of the Cabibbo-Kobayashi-Maskawa Parameter $|V_{us}|$ Using K_L Decays**", T. Alexopoulos, T. Yamanaka et al., Phys. Rev. Lett. **93**, 181802 (2004).
- "Search for the Rare Decay $K_L \rightarrow \pi^0 e^+ e^-$ ", A.Alavi-Harati, T. Yamanaka et al., Phys. Rev. Lett. **93**, 021805 (2004).
- "Measurements of the Decay $K_L \rightarrow e^+ e^- \mu^+ \mu^-$ ", A.Alavi-Harati, T. Yamanaka et al., Phys. Rev. Lett. **90** 141801 (2003).
- "**Measurements of Direct CP Violation, CPT Symmetry, and Other Parameters in the Neutral Kaon System**", A.Alavi-Harati, T. Yamanaka et al., Phys. Rev. **D 67**, 012005 (2003).
- "Search for the $K_L \rightarrow \pi^0 \pi^0 e^+ e^-$ Decay in the KTeV Experiment", A.Alavi-Harati, T. Yamanaka et al., Phys. Rev. Lett. **89**, 211801 (2002).
- "Radiative Decay Width Measurements of Neutral Kaon Excitations Using the Primakoff Effect", A.Alavi-Harati, T. Yamanaka et al., Phys. Rev. Lett. **89**, 072001 (2002).
- "Measurement of the K_L Charge Asymmetry", A.Alavi-Harati, T. Yamanaka et al., Phys. Rev. Lett. **88**, 181601-1~5 (2002).
- "New Measurement of the K_{e3} Branching Ratio and Photon Spectrum", A.Alavi-Harati, T. Yamanaka et al., Phys. Rev. **D 64**, 112004-1~7 (2001).

- "First Measurement of Form Factors of the Decay $\Xi^0 \rightarrow \Sigma^+ e^- \bar{\nu}$ ", A.Alavi-Harati, T. Yamana
naka *et al.*, Phys. Rev. Lett. **87**, 132001 (2001).
- "Branching Ratio Measurement of the Decay $K_L \rightarrow e^+ e^- \mu^+ \mu^-$ ", A.Alavi-Harati, T. Yamana
naka *et al.*, Phys. Rev. Lett. **87**, 111802-1~5 (2001).
- "Measurement of the Branching Ratio and Form Factor of $K_L \rightarrow \mu^+ \mu^- \gamma$ ", A.Alavi-Harati,
T. Yamanaka *et al.*, Phys. Rev. Lett. **87**, 071801-1 ~ 4 (2001).
- "Measurements of the Rare Decay $K_L \rightarrow e^+ e^- e^+ e^-$ ", A.Alavi-Harati, T. Yamanaka *et*
al., Phys. Rev. Lett. **86**, 5425-5429 (2001).
- "Measurement of the Branching Ratio of $K_L \rightarrow e^+ e^- \gamma \gamma$ ", A.Alavi-Harati, T. Yamanaka *et*
al., Phys. Rev. **D 64**, 012003-1 ~ 5(2001).
- "First Observation of the Decay $K_L \rightarrow \pi^0 e^+ e^- \gamma$ ", A.Alavi-Harti, T. Yamanaka *et al.*,
Phys. Rev. Lett. **87**, 021801 (2001).

- A05 計画

- "Scintillation characteristics of $PbWO_4$ single crystals doped with Th, Zr, Ce, Sb and Mn
ions", M. Kobayashi, *et al.*, Nuclear Instruments and Methods A465 (2001) 428-439.
- "**Further Evidence for the Decay $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$** ", **S. Adler**, M. Kobayashi, T.K. Koma-
tsubara, S. Sugimoto, (E787 collaboration), *Phys. Rev. Lett.* **88-4 (2002) 041803**
(4pages).
- "**Search for the rare decay $K^+ \rightarrow \pi^+ \gamma$** ", **S. Adler**, M. Kobayashi, T.K. Koma-
tsubara, S. Sugimoto, (E787 collaboration), *Phys. Rev. D* **65 (2002) 052009**
(7pages).
- "A beam test of $PbWO_4$ Cherenkov radiators", M. Kobayashi, S. Sugimoto, Y. Yoshimura,
T.K. Komatsubara, K. Mimori, K. Omata, T. Sekiguchi, T. Tsunemi, T. Yoshioka, Y.
Tamagawa, H. Shirasaka, T. Fujiwara, and Y. Usuki, *Nucl. Instrum. Methods in*
Physics Research A **484** (2002) 140-148.
- "Doping $PbWO_4$ with different ions to increase the light yield", M. Kobayashi, Y. Usuki,
M. Ishii and M. Nikl, *Nucl. Instrum. Methods in Physics Research A* **486** (2002) 170-175.
- "Crystal growth and luminescence properties of $Li_2B_4O_7$ single crystals doped with Ce, In,
Ni, Cu and Ti ions", N. Senguttuvan, M. Ishii, M. Shimoyama, M. Kobayashi, N. Tsutsui,
M. Nikl, M. Dusek, H. M. Shimizu, T. Oku, T. Adachi, K. Sakai, and J. Suzuki, *Nucl.*
Instrum. Methods in Physics Research A **486** (2002) 264-267.
- "Influence of Y-codoping on the $PbWO_4$: Mo luminescence and scintillator characteris-
tics", M. Nikl, P. Bohacek, E. Mihokova, N. Solovieva, A. Vedda, M. Martini, G. P. Pazzi,

- P. Fabeni and M. Kobayashi, *Nucl. Instrum. Methods in Physics Research A* **486** (2002) 453-457.
- “Development of BSO ($Bi_4Si_3O_{12}$) crystal for radiation detector”, M. Ishii, K. Harada, Y. Hirose, N. Senguttuvan, M. Kobayashi, I. Yamaga, H. Ueno, K. Miwa, F. Shiji, F. Yiting, M. Nikl and X.Q. Feng, *Optical Materials* **19** (2002) 201-212.
 - “Silicon strip detector as a real-time, fast, medium-segmented hodoscope”, M. Kobayashi, M. Chiba, H. Ikeda, K. Mimori, K. Okada, K. Omata, K. Shiino, F. Takeuchi and Y. Yoshimura, *Nucl. Instrum. Methods in Physics Research A* **487** (2002) 353-364.
 - “Delayed recombination luminescence in lead tungstate (PWO) scintillating crystals”, G.P. Pazzi, P. Fabeni, M. Nikl, P. Bohacek, E. Mihokova, A. Vedda, M. Martini, M. Kobayashi, Y. Usuki, *Journal of Luminescence* **102-103** (2003) 791-796.
 - “Mechanism of Th^{4+} , Zr^{4+} doping in $PbWO_4$ crystals”, W.L. Zhu, H.W. Huang, X.Q. Feng, M. Kobayashi and Y. Usuki, *Solid State Commun.* **125** (2003) 253-257.
 - “Search for the decay $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ in the momentum region $P_\pi < 195 MeV/c$ ”, S. Adler, M. Kobayashi, T.K. Komatsubara, S. Sugimoto, (E787 collaboration), *Physics Letters B* **537** (2002) 211-216.
 - “Improved Measurement of the $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ Branching Ratio”, V.V. Anisimovskiy, M. Kobayashi, T.K. Komatsubara, T. Nomura, S. Sugimoto, (E949 collaboration), *Physiccal Review Letters* **93-3** (16 July, 2004) 031801 (4pages).
 - “Further search for the decay $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ in the momentum region $P_\pi < 195 MeV/c$ ”, S. Adler, M. Kobayashi, T.K. Komatsubara, S. Sugimoto (E787 collaboration), *Physical Review D* **70-3** (August 2004) 037102 (4pages).
 - “Radiation hardness of $PbWO_4$ Cherenkov radiators heavily doped with trivalent rare-earth ions”, M. Kobayashi, S. Sugimoto, and Y. Usuki, *Nucl. Instrum. Methods in Physics Research A* **524** (2004) 385-389.
 - “Upgrade of the Level-0 Trigger System for BNL-E949”, T. Yoshioka, M. Nomachi, A. Artamanov, B. Bhuyan, J. S. Frank, T. Fujiwara, K. Higa, S.H. Kettell, T. K. Komatsubara, A. Konaka, A. Kozjevnikov, A. Kushinirenko, N. Muramatsu, T. Nakano, T. Nomura, S. Petrenko, R. Poutissou, G. Redlinger, T. Sekiguchi, T. Shinkawa, S. Sugimoto, and T. Tsunemi, *IEEE Transactions on Nuclear Science* **51-3** (2004) 334-339.
 - “Quenching Effects in Nitrogen Gas Scintillation”, H. Morii, K. Mizouchi, T. Nomura, N. Sasao, T. Sumida, M. Kobayashi, Y. Murayama and R. Takashima, *Nucl. Instrum. Methods in Physics Research A* **526** (2004) 399-408.

- “Search for the decay $K^+ \rightarrow \pi^+ \gamma \gamma$ in the π^+ momentum region $P > 213 MeV/c$ ”, A.V. Artamonov, M. Kobayashi, T.K. Komatsubara, T. Nomura, S. Sugimoto(E949 collaboration), *Physics Letters B* **623** (2005) 192-199.
- “Upper limit on the branching ratio for the decay $\pi^0 \rightarrow \nu \bar{\nu}$ ”, A.V. Artamonov, M. Kobayashi, T.K. Komatsubara, T. Nomura, S. Sugimoto(E949 collaboration), *Physical Review D* **72** (2005) 091102 (4pages).
- “Boron based oxide scintillation glass for neutron detection”, M. Ishii, Y. Kuwano, T. Asai, S. Asaba, M. Kawamura, N. Senguttuvan, T. Hayashi, M. Kobayashi, M. Nikl, S. Hosoya et al., *Nucl. Instrum. Methods in Physics Research A* **537** (2005) 282-285
- “Significant increase in fast scintillation component from $PbWO_4$ by annealing”, M. Kobayashi, Y. Usuki, M. Ishii and M. Itoh, *Nucl. Instrum. Methods in Physics Research A* **537** (2005) 312-316.
- “On-line measurement of gamma radiation-induced absorption in A^{3+} -codoped $PbWO_4$: Mo crystals”, M. Sulc, M. Nikl, M. Vognar, P. Bohacek, P. Mikes, M. Kobayashi, and Y. Usuki, *Nucl. Instrum. Methods in Physics Research A* **537** (2005) 446-448.
- “Further study on different dopings into $PbWO_4$ single crystals to increase the scintillation light yield”, M. Kobayashi, Y. Usuki, M. Ishii, M. Itoh and M. Nikl *Nucl. Instrum. Methods in Physics Research A* **540** (2005) 381-394.
- “Laser-induced infrared absorption in lead tungstate observed by laser-SR combined spectroscopy”, M. Itoh, J. Azuma, T. Shimizu, M. Kamada, M. Kobayashi and Y. Usuki, *Journal of Luminescence* **119-120** (2006) 590-594.
- “Performance of connected GSO bars”, Y. Tamagawa, H. Shirasaka, M. Kobayashi, T.K. Komatsubara, K. Mimori, K. Omata, T. Sekiguchi, S. Sugimoto, T. Tsunemi, T. Yoshioka, T. Fujiwara, *Nucl. Instrum. Methods in Physics Research A* **562** (2006) 120-126.

- A06 計画

- S. Komine and M. Yamaguchi, Bottom-tau unification in SUSY SU(5) GUT and constraints from $b \rightarrow s \gamma$ and muon $g - 2$, *Phys. Rev. D* **65**, 075013 (2002).
- M. Endo, M. Matsumura, and M. Yamaguchi, Phenomenology of minimal supergravity with vanishing A and B soft supersymmetry breaking parameters, *Phys. Lett. B* **544**, 161-166 (2002).
- M. Yamaguchi and K. Yoshioka, Dynamical solution to supersymmetric CP problem with vanishing B parameter, *Phys. Lett. B* **543**, 189-196 (2002).

- M. Endo and T. Moroi, Muon magnetic dipole moment and Higgs mass in supersymmetric SU(5) models, Phys. Lett. B **525**, 121–129 (2002).
- N. Abe, T. Moroi, and M. Yamaguchi, Anomaly mediated supersymmetry breaking with axion, JHEP **0201**, 010 (2002).
- M. Kakizaki and M. Yamaguchi, U(1) flavor symmetry and proton decay in supersymmetric standard model, JHEP **0206**, 032 (2002).
- Y. Yamada, Two-loop renormalization of tan beta and its gauge dependence, Phys. Lett. B **530**, 174–178 (2002).
- V. Gusynin, M. Hashimoto, M. Tanabashi, and K. Yamawaki, Dynamical chiral symmetry breaking in gauge theories with extra dimensions, Phys. Rev. D **65**, 116008 (2002).
- T. Moroi and T. Takahashi, Cosmic density perturbations from late decaying scalar condensations, Phys. Rev. D **66**, 063501 (2002).
- R. Kitano, T. Moroi, and S.-F. Su, Top squark study at a future e^+e^- linear collider, JHEP **0212**, 011 (2002).
- J. R. Espinosa and Y. Yamada, Scale- and gauge-independent mixing angles for scalar particles, Phys. Rev. D **67**, 036003 (2003).
- T. Moroi and H. Murayama, CMB anisotropy from baryogenesis by a scalar field, Phys. Lett. B **553**, 126–134 (2003).
- Y. Sakamura, Modified mode expansion of a BPS wall related to the nonlinear realization, JHEP **0304**, 008 (2003).
- Y. Sakamura, Superfield description of effective theories on BPS domain walls, Nucl. Phys. B **656**, 132–164 (2003).
- Y. Sakamura, Effective theory for wall-antiwall system, JHEP **0305**, 062 (2003).
- M. Harada, M. Tanabashi, and K. Yamawaki, $\pi^+-\pi^0$ mass difference in the hidden local symmetry: A dynamical origin of little Higgs, Phys. Lett. B **568**, 103–108 (2003).
- K. Hamaguchi, M. Kakizaki, and M. Yamaguchi, Democratic (s)fermions and lepton flavor violation, Phys. Rev. D **68**, 056007 (2003).
- M. Endo, M. Kawasaki, and T. Moroi, Cosmic string from D term inflation and curvaton, Phys. Lett. B **569**, 73–80 (2003).
- M. Kakizaki and M. Yamaguchi, Singular Kähler potential and heavy top quark in a democratic mass matrix model, Phys. Lett. B **573**, 123–130 (2003).
- M. Endo and Y. Sakamura, CP violation in models with TeV scale SUSY breaking, Phys. Lett. B **580**, 79–86 (2004).

- K. Choi, N. Haba, K.-S. Jeong, K. Okumura, Y. Shimizu, and M. Yamaguchi, Electroweak symmetry breaking in supersymmetric gauge Higgs unification models, JHEP **0402**, 037 (2004).
- H. Ishikawa and T. Tani, Twisted boundary states in Kazama-Suzuki models, Nucl. Phys. B **678**, 363–397 (2004).
- M. Endo, M. Yamaguchi, and A. Yotsuyanagi, Raising sfermion masses by adding extra matter fields, Phys. Lett. B **580**, 243–248 (2004).
- **F. Borzumati, C. Greub, and Y. Yamada**, **Beyond leading order corrections to $B \rightarrow s\gamma$ at large $\tan\beta$: The charged Higgs contribution**, Phys. Rev. D **69**, 055005 (2004).
- **T. Moroi and T. Takahashi**, **Correlated isocurvature fluctuation in quintessence and suppressed CMB anisotropies at low multipoles**, Phys. Rev. Lett. **92**, 091301 (2004).
- M. Endo, M. Kakizaki, and M. Yamaguchi, **New constraint on squark flavor mixing from 199Hg electric dipole moment**, Phys. Lett. B **583**, 186–191 (2004).
- K. Hamaguchi, M. Kawasaki, T. Moroi, and F. Takahashi, Curvatons in supersymmetric models, Phys. Rev. D **69**, 063504 (2004).
- M. Hashimoto, M. Tanabashi, and K. Yamawaki, Topped MAC with extra dimensions?, Phys. Rev. D **69**, 076004 (2004).
- M. Endo, M. Yamaguchi, and K. Yoshioka, Radiative CP phases in supergravity theories, Phys. Lett. B **586**, 382–389 (2004).
- D. H. Lyth and T. Moroi, The masses of weakly coupled scalar fields in the early universe, JHEP **0405**, 004 (2004).
- R. S. Chivukula, M. Kurachi, and M. Tanabashi, Generalized Weinberg sum rules in deconstructed QCD, JHEP **0406**, 004 (2004).
- S. Kasuya, T. Moroi, and F. Takahashi, Can MSSM particle be the inflaton?, Phys. Lett. B **593**, 33–41 (2004).
- M. Endo, M. Kakizaki, and M. Yamaguchi, Large supersymmetric contribution to CP asymmetry of $B_d \rightarrow K_S$ from left-handed squark mixing Phys. Lett. B **594**, 205–212 (2004).
- K. Kohri, M. Yamaguchi, and J. Yokoyama, Production and dilution of gravitinos by modulus decay, Phys. Rev. D **70**, 043522 (2004).
- **T. Han, K. Hikasa, J. M. Yang, and X. Zhang**, **Flavor-changing neutral current top-squark decay as a probe of squark mixing**, Phys. Rev. D **70**, 055001 (2004).

- R. S. Chivukula, E. H. Simmons, H.-J. He, M. Kurachi, and M. Tanabashi, The structure of corrections to electroweak interactions in higgsless models, Phys. Rev. D **70**, 075008 (2004).
- H. Eberl, W. Majerotto, and Y. Yamada, Full one-loop corrections to SUSY higgs boson decays into charginos, Phys. Lett. B **597**, 275–284 (2004).
- J. Hisano and Y. Shimizu, Hadronic EDMs induced by the strangeness and constraints on supersymmetric CP phases, Phys. Rev. D **70**, 093001 (2004).
- M. Ikegami and T. Moroi, Curvaton scenario with Affleck-Dine baryogenesis, Phys. Rev. D **70**, 083515 (2004).
- S. Mishima and T. Yoshikawa, Large electroweak penguin contribution in $B \rightarrow K\pi$ and $\pi\pi$ decay modes, Phys. Rev. D **70**, 094024 (2004).
- V. P. Gusynin, M. Hashimoto, M. Tanabashi, and K. Yamawaki, Gauged Nambu-Jona-Lasinio model with extra dimensions, Phys. Rev. D **70**, 096005 (2004).
- T. Moroi, Curvaton mechanism and its implications to sneutrino cosmology, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) **137** 259–268 (2004).
- R. S. Chivukula, E. H. Simmons, H.-J. He, M. Kurachi, and M. Tanabashi, Universal non-oblique corrections in higgsless models and beyond, Phys. Lett. B **603**, 210–218 (2004).
- T. Araki, K. Ito, and A. Ohtsuka, Deformed supersymmetry in non(anti)commutative $N = 2$ supersymmetric U(1) gauge theory, Phys. Lett. B **606**, 202–210 (2005).
- R. S. Chivukula, E. H. Simmons, H.-J. He, M. Kurachi, and M. Tanabashi, Electroweak corrections and unitarity in linear moose models, Phys. Rev. D **71**, 035007 (2005).
- H.-N. Li and S. Mishima, Polarizations in $B \rightarrow VV$ decays, Phys. Rev. D **71**, 054025 (2005).
- **M. Endo, S. Mishima, and M. Yamaguchi, Recent measurements of CP asymmetries of $B \rightarrow \phi K^0$ and $B \rightarrow \eta' K_S$ at B factories suggest new CP violation in left-handed squark mixing, Phys. Lett. B **609**, 95–101 (2005).**
- M. Kawasaki, K. Kohri, and T. Moroi, Big-bang nucleosynthesis and hadronic decay of long-lived massive particles, Phys. Rev. D **71**, 083502 (2005).
- T. Araki, K. Ito, and A. Ohtsuka, Non(anti)commutative $N = (1, 1/2)$ supersymmetric U(1) gauge theory, JHEP **0505**, 074 (2005).
- R. S. Chivukula, E. H. Simmons, H.-J. He, M. Kurachi, and M. Tanabashi, Deconstructed higgsless models with one-site delocalization, Phys. Rev. D **71**, 115001 (2005).

- M. Endo, M. Yamaguchi, and K. Yoshioka, Bottom-up approach to moduli dynamics in heavy gravitino scenario: Superpotential, soft terms, and sparticle mass spectrum, *Phys. Rev. D* **72**, 015004 (2005).
- R. S. Chivukula, E. H. Simmons, H.-J. He, M. Kurachi, and M. Tanabashi, Ideal fermion delocalization in higgsless models, *Phys. Rev. D* **72**, 015008 (2005).
- T. Moroi, T. Takahashi, and Y. Toyoda, Relaxing constraints on inflation models with curvaton, *Phys. Rev. D* **72**, 023502 (2005).
- T. Moroi and T. Takahashi, Implications of the curvaton on inflationary cosmology, *Phys. Rev. D* **72**, 023505 (2005).
- M. Ibe, T. Moroi, and T. Yanagida, Dark matter and baryon asymmetry of the universe in large-cutoff supergravity, *Phys. Lett. B* **620**, 9–16 (2005).
- T. Araki, T. Takashima, and S. Watamura, On a superfield extension of the ADHM construction and $N = 1$ super instantons, *JHEP* **0508**, 065 (2005).
- **M. Kawasaki, K. Kohri, and T. Moroi, Hadronic decay of late-decaying particles and big-bang nucleosynthesis, *Phys. Lett. B* **625**, 7–12 (2005).**
- Y. Yamada, Two-loop SUSY QCD correction to the gluino pole mass, *Phys. Lett. B* **623**, 104–110 (2005).
- R. S. Chivukula, E. H. Simmons, H.-J. He, M. Kurachi, and M. Tanabashi, Multi-gauge-boson vertices and chiral Lagrangian parameters in higgsless models with ideal fermion delocalization, *Phys. Rev. D* **72**, 075012 (2005)
- T. Moroi, Y. Shimizu, and A. Yotsuyanagi, Reconstructing dark matter density with e^+e^- linear collider in focus-point supersymmetry, *Phys. Lett. B* **625**, 79–87 (2005)
- K. Kohri, M. Yamaguchi, and J. Yokoyama, Neutralino dark matter from heavy gravitino decay, *Phys. Rev. D* **72**, 083510 (2005).
- R. S. Chivukula, E. H. Simmons, H.-J. He, M. Kurachi, and M. Tanabashi, Ideal fermion delocalization in five dimensional gauge theories, *Phys. Rev. D* **72**, 095013 (2005)
- T. Araki, T. Takashima, and S. Watamura, Instantons in $N = 1/2$ super Yang-Mills theory via deformed super ADHM construction, *JHEP* **0512**, 044 (2005)
- H.-N. Li, S. Mishima, and A. I. Sanda, Resolution to the $B \rightarrow \pi K$ puzzle, *Phys. Rev. D* **72**, 114005 (2005)
- T. Moroi and Y. Shimizu, Supersymmetric heavy Higgses at e^+e^- linear collider and dark-matter physics, *Phys. Rev. D* **72**, 115012 (2005)
- S. Chang, C. S. Kim, and M. Yamaguchi, Hierarchical mass structure of fermions in warped extra dimension, *Phys. Rev. D* **73**, 033002 (2006)

- T. Asaka, K. Ishiwata, and T. Moroi, Right-handed sneutrino as cold dark matter, Phys. Rev. D **73**, 051301 (2006)
- **M. Harada, M. Kurachi, and K. Yamawaki, The $\pi^+-\pi^0$ mass difference and the S parameter in large N_F QCD, Prog. Theor. Phys. **115**, 765–795 (2006)**
- T. Noguchi, M. Yamaguchi, and M. Yamashita, Gravitational Kaluza-Klein modes in warped superstring compactification, Phys. Lett. B **636**, 221–226 (2006)
- K. Kohri, T. Moroi, and A. Yotsuyanagi, Big-bang nucleosynthesis with unstable gravitino and upper bound on the reheating temperature, Phys. Rev. D **73**, 123511 (2006).
- Y. Yamada, Two-loop SUSY QCD correction to the gluino pole mass, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) **157**, 167–171 (2006)
- T. Asaka, A. Kusenko, and M. Shaposhnikov, Opening a new window for warm dark matter, Phys. Lett. B **638**, 401–406 (2006).
- S. Nakamura and M. Yamaguchi, Gravitino production from heavy moduli decay and cosmological moduli problem revived, Phys. Lett. B **638**, 389–395 (2006).
- T. Asaka, S. Nakamura, and M. Yamaguchi, Gravitinos from heavy scalar decay, Phys. Rev. D **74**, 023520 (2006).
- J. Cao, G. Eilam, K. Hikasa, and J. M. Yang, Experimental constraints on supersymmetric top-charm partner flavor mixing and implications for top-quark flavor changing neutral current processes, Phys. Rev. D **74**, 031701 (2006).

- A06 公募

- S. Aoki, Y. Kuramashi, and S. Tominaga, Relativistic heavy quarks on the lattice, Prog. Theor. Phys. **109**, 383–413 (2003).
- S. Aoki, Y. Kuramashi, and S. Tominaga, Relativistic heavy quarks on the lattice, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) **106**, 349–351 (2002).
- S. Aoki and Y. Kuramashi, Perturbative Determination of Four Parameters in Relativistic Heavy Quark Action, Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) **119**, 583–585 (2003).
- Y. Kikukawa, A practical gauge invariant construction of abelian chiral gauge theories on the lattice, in *Proceedings of the International Workshop “Strong coupling gauge theories and Effective field theories,”* Nagoya, Japan Dec. 10–13, 2002 (World Scientific, Singapore), p. 220.
- Y. Abe, N. Haba, Y. Higashide, K. Kobayashi, and M. Matsunaga, Unitarity in gauge symmetry breaking on orbifold, Prog. Theor. Phys. **109** 831–842 (2003).

- N. Haba and Y. Shimizu, A simple model of generating fermion mass hierarchy in $N = 1$ supersymmetric 6D SO(10) GUT, Phys. Lett. B **560**, 133–139 (2003).
- N. Haba and Y. Shimizu, Gauge-Higgs unification in the five-dimensional E_6 , E_7 , and E_8 GUTs on orbifold, Phys. Rev. D **67**, 095001 (2003).
- N. Haba, M. Harada, Y. Hosotani, and Y. Kawamura, Dynamical rearrangement of gauge symmetry on the orbifold S^1/Z_2 Nucl. Phys. B **657**, 169–213 (2003).
- N. Haba and N. Maru, Decoupling and lepton flavor violation in extra dimensional theory, Phys. Lett. B **557**, 240–246 (2003).
- N. Haba and N. Maru, (S)fermion masses in fat brane scenario, Phys. Rev. D **66**, 055005 (2002).
- N. Haba and N. Maru, Decoupling solution to SUSY flavor problem via extra dimensions, Mod. Phys. Lett. A **17**, 2341–2348 (2002).
- N. Haba, T. Kondo, and Y. Shimizu, Fermion mass hierarchy in 6 dimensional SO(10) SUSY GUT Phys. Lett. B **535**, 271–279 (2002).
- N. Haba and T. Suzuki, The neutrinoless double β decay and the neutrino mass hierarchy Mod. Phys. Lett. A **17**, 865–874 (2002).
- N. Haba and N. Maru, Light Higgs triplets in extra dimensions, Phys. Lett. B **532**, 93–98 (2002).
- N. Maekawa and Q. Shafi, Supersymmetric SU(3)³ unification with anomalous U(1) Symmetry, Prog. Theor. Phys. **109**, 279–293 (2003).
- N. Maekawa and T. Yamashita, 2 loop analysis of gauge coupling unification with anomalous U(1) symmetry and proton decay, Prog. Theor. Phys. **108**, 719–735 (2002).
- N. Maekawa and T. Yamashita, Gauge coupling unification of GUT with anomalous U(1) symmetry, Phys. Rev. Lett. **90**, 121801 (2003).
- N. Maekawa, Non-abelian horizontal symmetry and anomalous U(1) symmetry for the supersymmetric flavor problem, Phys. Lett. B **561**, 273–278 (2003).
- N. Maekawa and T. Yamashita, Simple E_6 unification with anomalous U(1)_A symmetry, Prog. Theor. Phys. **110**, 93–105 (2003).
- N. Maekawa and T. Yamashita, Flipped SO(10) model, Phys. Lett. B **567** 330–338 (2003).
- N. Maekawa and T. Yamashita, Sliding singlet mechanism revisited, Phys. Rev. D **68**, 055001 (2003).
- J. L. Feng and M. M. Nojiri, Supersymmetry and the linear collider, in “Linear Collider Physics in the new millenium,” edited by David Miller, Keisuke Fujii and Amarjit Soni (World Scientific, Singapore), in press.

- J. Hisano, S. Matsumoto and M. M. Nojiri, Explosive dark matter annihilation, hep-ph/0307216.
- J. Hisano, K. Kawagoe and M. M. Nojiri, A detailed study of the gluino decay into the third generation squarks at the CERN LHC, Phys. Rev. D (in press), hep-ph/0304214.
- J. Hisano, S. Matsumoto and M. M. Nojiri, Unitarity and higher-order corrections in neutralino dark matter annihilation into two photons, Phys. Rev. D **67**, 075014 (2003).
- J. Hisano, R. Kitano, and M. M. Nojiri, Flavor mixing in slepton production at the large hadron collider, Phys. Rev. D **65**, 116002 (2002).
- J. Hisano, K. Kawagoe, R. Kitano, and M. M. Nojiri, Scenery from the top: Study of the third generation squarks at CERN LHC, Phys. Rev. D **66**, 115004 (2002).
- T. Miki, T. Miura, and M. Tanaka, Effects of charged Higgs boson and QCD corrections in $\bar{b} \rightarrow D\tau\bar{\nu}_\tau$, in *Proceedings of the 3rd Workshop on Higher Luminosity B Factory*, Shonan Village, Kanagawa, 6–7 Aug 2002, pp. 116–124.
- T. Goto, Y. Okada, Y. Shimizu, T. Shindo, and M. Tanaka, Exploring flavor structure of supersymmetry breaking at B factories, in *Proceedings of the 3rd Workshop on Higher Luminosity B Factory*, Shonan Village, Kanagawa, 6–7 Aug 2002, pp. 96–106.
- T. Ota, J. Sato, and N. Yamashita, Oscillation enhanced search for new interaction with neutrinos, Phys. Rev. D **65**, 093015 (2002).
- T. Ota and J. Sato, Can ICARUS and OPERA give information on a new physics?, Phys. Lett. B **545**, 365–372 (2002).
- T. Ota and J. Sato, Yet another correlation in the analysis of CP violation using a neutrino oscillation experiment, Phys. Rev. D **67**, 053003 (2003).
- Y. Koide and J. Sato, R -parity violation in a SUSY GUT model and radiative neutrino masses, hep-ph/0305291.
- J. Hisano and Y. Shimizu, GUT relation in neutrino induced flavor physics in SUSY SU(5) GUT, Phys. Lett. B **565**, 183 (2003).
- J. Hisano, Lepton-flavor violating decay of tau lepton in the supersymmetric seesaw model, in *Proceedings of 3rd Workshop on Higher Luminosity B Factory*, Shonan Village, Kanagawa, Japan, 6–7 Aug. 2002, pp. 166–174.
- J. R. Ellis, J. Hisano, M. Raidal and Y. Shimizu, A new parametrization of the seesaw mechanism and applications in supersymmetric models, Phys. Rev. D **66**, 115013 (2002)
- J. Hisano, Probing physics beyond the standard model from lepton sector, Nucl. Phys. Proc. Suppl. **111**, 178 (2002).
- S. Aoki, Y. Kuramashi, and S. Tominaga, Relativistic Heavy Quarks on the Lattice, Prog. Theor. Phys. **109**, 383–413 (2003).

- S. Aoki, M. Fukugita, S. Hashimoto, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, T. Onogi, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada, and T. Yoshie, $B^0-\bar{B}^0$ mixing in quenched lattice QCD, Phys. Rev. D **67**, 014506 (2003).
- S. Aoki, M. Fukugita, S. Hashimoto, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada, and T. Yoshie (JLQCD Collaboration), Heavy quark expansion parameters from lattice NRQCD, Phys. Rev. D **69**, 094512 (2004).
- S. Aoki, M. Fukugita, S. Hashimoto, K-I. Ishikawa, N. Ishizuka, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, T. Onogi, N. Tsutsui, A. Ukawa, N. Yamada, and T. Yoshie (JLQCD Collaboration), $B-\bar{B}$ mixing in unquenched lattice QCD, Phys. Rev. Lett. **91**, 212001 (2003).
- S. Aoki, Y. Kayaba, and Y. Kuramashi, A perturbative determination of mass dependent $O(a)$ improvement coefficients in a relativistic heavy quark action, Nucl. Phys. B **697**, 271–301 (2004).
- S. Aoki, Y. Kayaba, and Y. Kuramashi, Perturbative determination of mass dependent $O(a)$ improvement coefficients for the vector and axial vector currents with a relativistic heavy quark action, Nucl. Phys. B **689**, 127–156 (2004).
- N. Yamada, S. Aoki, and Y. Kuramashi, Perturbative determination of mass dependent renormalization and improvement coefficients for the heavy-light vector and axial-vector currents with relativistic heavy and domain-wall light quarks, Nucl. Phys. B **713**, 407–437 (2005).
- T. Jittoh, S. Matsumoto, J. Sato, Y. Sato, and K. Takeda, Non-exponential decay of unstable system : Small-Q-value S-wave decay, Phys. Rev. A **71**, 012109 (2005).
- T. Ota and J. Sato, Signature of the Minimal Supersymmetric Standard Model with right-handed neutrinos in long baseline experiments, Phys. Rev. D **71**, 096004 (2005).
- J. Sato, Monoenergetic neutrino beam for long baseline experiment, Phys. Rev. Lett. **95**, 131804 (2005).
- T. Jittoh, J. Sato, T. Shimomura, and M. Yamanaka, Long life stau in the minimal supersymmetric standard model, Phys. Rev. D **73**, 055009 (2006).
- M. Eto, Y. Isozumi, M. Nitta, K. Ohashi, and N. Sakai, Non-Abelian webs of walls, Phys. Lett. B **632**, 384-392 (2006).
- Minoru Eto, Youich Isozumi, M. Nitta, K. Ohashi, and N. Sakai, Webs of domain walls in supersymmetric gauge theories, Phys. Rev. D **72**, 085004 (2005).
- M. Eto, Y. Isozumi, M. Nitta, K. Ohashi, K. Ohta, N. Sakai, and Y. Tachikawa, Global structure of moduli space for BPS walls, Phys. Rev. D **71**, 105009 (2005).

- N. Sakai and D. Tong, Monopoles, vortices, domain walls and D-branes: The rules of interaction, JHEP **0503**, 019 (2005).
- M. Eto, Y. Isozumi, M. Nitta, K. Ohashi, and N. Sakai, Instantons in the Higgs phase, Phys. Rev. **D72**, 025011 (2005).
- M. Eto, Y. Isozumi, M. Nitta, K. Ohashi, K. Ohta, and N. Sakai, D-brane construction for non-Abelian walls, Phys. Rev. D **71**, 125006 (2005).
- Y. Isozumi, M. Nitta, K. Ohashi, and N. Sakai, Non-Abelian walls in supersymmetric gauge theories, Phys. Rev. D **70**, 125014 (2004).
- M. Eto, M. Nitta, and N. Sakai, Effective theory on non-Abelian vortices in six dimensions, Nucl. Phys. B **701**, 247 (2004).
- Y. Isozumi, M. Nitta, K. Ohashi, and N. Sakai, All exact solutions of a 1/4 Bogomol’nyi-Prasad-Sommerfield equation, Phys. Rev. D **71**, 065018 (2005).
- Y. Isozumi, M. Nitta, K. Ohashi, and N. Sakai, Construction of non-Abelian walls and their complete moduli space, Phys. Rev. Lett. **93**, 161601 (2004).
- M. Eto, N. Maru, and N. Sakai, Non-BPS walls and their stability in 5D supersymmetric theory, Nucl. Phys. B **696**, 3–35 (2004).
- G. C. Cho, K. Hagiwara, J. Kanzaki, T. Plehn, D. Rainwater, and T. Stelzer, Weak boson fusion production of supersymmetric particles at the LHC, Phys. Rev. D **73**, 054002 (2006).
- G. C. Cho, N. Haba and M. Honda, Neutron electric dipole moment and flavor changing interactions in supersymmetric theories, Mod. Phys. Lett. A **20**, 2969 (2005).
- G. C. Cho and A. Omote, Search for a light extra gauge boson in littlest Higgs model at a linear collider, Phys. Rev. D **70**, 057701 (2004).
- M. Bando, A. Sugamoto, and S. Terunuma, Meson strings and flavor branes, Prog. Theor. Phys. **115**, 1111 (2006).
- A. Noguchi and A. Sugamoto, Dynamical origin of duality between gauge theory and gravity, TSPU Vestnik **44N7**, 59 (2004).
- M. Bando, T. Kugo, A. Sugamoto, and S. Terunuma, Pentaquark baryons in string theory, Prog. Theor. Phys. **112**, 325 (2004).
- N. Oshimo, Generation-changing interaction of sneutrinos in e^+e^- collisions, Eur. Phys. J. C **39**, 383 (2005).
- M. Tanimoto and T. Yanagida, A higher-dimensional origin of the inverted mass hierarchy for neutrino, Phys. Lett. B **633**, 567–572 (2006).
- W. Grimus, S. Kaneko, L. Lavoura, H. Sawanaka, and M. Tanimoto, μ - τ antisymmetry and neutrino mass matrices, JHEP **0601**, 110 (2006).

- M. Honda, R. Takahashi and M. Tanimoto, Embedding the texture of the neutrino mass matrix into the MaVaNs scenario, JHEP **0601**, 042 (2006).
- R. Takahashi and M. Tanimoto, Model of mass varying neutrinos in SUSY, Phys. Lett. B **633**, 675–680 (2006).
- T. Fujihara, S. Kaneko, S. Kang, D. Kimura, T. Morozumi and M. Tanimoto, Cosmological family asymmetry and CP violation, Phys. Rev. D **72**, 016006 (2005).
- S. Kaneko, H. Sawanaka and M. Tanimoto, Hybrid textures of neutrinos, JHEP **0508**, 073 (2005).
- M. Frigerio, S. Kaneko, E. Ma and M. Tanimoto, Quaternion family symmetry of quarks and leptons, Phys. Rev. D **71**, 011901 (2005).
- T. Kobayashi, H. Nakano, and H. Terao, Induced top Yukawa coupling and suppressed Higgs mass parameters, Phys. Rev. D **71**, 115009 (2005).
- T. Kobayashi, H. Nakano, H. Terao, and Y. Yamada, Large mass scale by strong gauge dynamics with infrared fixed point, Prog. Theor. Phys. **113**, 413–427 (2005).
- W. Grimus, A. Joshipura, S. Kaneko, L. Lavoura, H. Sawanaka and M. Tanimoto, Non-vanishing U_{e3} and $\cos^2 \theta_{23}$ from a broken Z_2 symmetry, Nucl. Phys. B **713**, 151 (2005).
- M. Frigerio, S. Kaneko, E. Ma and M. Tanimoto, Quaternion family symmetry of quarks and leptons, Phys. Rev. D **71**, 011901 (2005).
- W. Grimus, A. Joshipura, S. Kaneko, L. Lavoura and M. Tanimoto, Lepton mixing angle $\theta_{13} = 0$ with a horizontal symmetry D_4 , JHEP **0407**, 078 (2004).
- W. Grimus, A. Joshipura, L. Lavoura and M. Tanimoto, Symmetric realization of texture zero, Eur. Phys. J. C **36**, 227 (2004).
- M. Bando, M. Obara, S. Kaneko and M. Tanimoto, Can symmetric texture reproduce neutrino bi-large mixings?, Phys. Lett. B **580**, 229 (2004).
- M. Honda, S. Kaneko and M. Tanimoto, Seesaw enhancement of bi-large mixing in two-zero textures, Phys. Lett. B **593**, 165 (2004).
- H. Fukaya, S. Hashimoto, T. Hirohashi, K. Ogawa, and T. Onogi, Topology conserving gauge action and the overlap-Dirac operator, Phys. Rev. D **73**, 014503 (2006).
- M. Fukunaga and T. Onogi, A model independent determination of $|V(ub)|$ using the global q^2 dependence of the dispersive bounds on the $B \rightarrow \pi \ell \nu$ form factors, Phys. Rev. D **71**, 034506 (2005).
- S. Hashimoto and T. Onogi, Heavy quarks on the lattice, Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. **54**, 451 (2004).

- T. Onogi and T. Takimi, Perturbative study of the supersymmetric lattice theory from matrix model, Phys. Rev. D **72**, 074504 (2005).
- T. T. Takahashi, T. Umeda, T. Onogi, and T. Kunihiro, Search for the possible $S = +1$ pentaquark states in quenched lattice QCD, Phys. Rev. D **71**, 114509 (2005).
- P. Ko, T. Kobayashi, and J. Park, Quark masses and mixing angles in heterotic orbifold models, Phys. Lett. B **598**, 263 (2004).
- T. Kobayashi, S. Raby, and R. Zhang, Searching for realistic 4d string models with a Pati-Salam symmetry, Nucl. Phys. B **704**, 3 (2005).
- P. Ko, T. Kobayashi, and J. Park, Lepton masses and mixing angles from heterotic orbifold models, Phys. Rev. D **71**, 095010 (2005).
- T. Higaki, N. Kitazawa, T. Kobayashi, and K. Takahashi, Flavor structure and coupling selection rule from intersecting D-branes, Phys. Rev. D **72**, 086003 (2005).
- N. Maekawa, E_6 unification, large neutrino mixings, and SUSY flavor problem, Prog. Theor. Phys. **112**, 639–652 (2004).
- N. Maekawa and T. Yamashita, Horizontal symmetry in Higgs sector of GUT with $U(1)_A$ symmetry, JHEP **0407**, 009 (2004).
- G. C. Cho, N. Haba, and M. Honda, Neutron electric dipole moment and flavor changing interactions in supersymmetric theories, Mod. Phys. Lett. A **20**, 2969 (2005).
- N. Haba, K. Takenaga, and T. Yamashita, Partial gauge symmetry breaking via bare mass, Phys. Lett. B **605**, 355–361 (2005).
- N. Haba, K. Takenaga, and T. Yamashita, Correct effective potential of supersymmetric Yang-Mills theory on $M^4 \times S^1$, Phys. Rev. D **71**, 025006 (2005).
- N. Haba, K. Takenaga, and T. Yamashita, Higgs mass in the gauge-Higgs unification, Phys. Lett. B **615**, 247–256 (2005).
- J. Ferrandis and N. Haba, Supersymmetry breaking as the origin of flavor, Phys. Rev. D **70**, 055003 (2004).
- Y. Abe, N. Haba, K. Hayakawa, Y. Matsumoto, M. Matsunaga, and K. Miyachi, 4D equivalence theorem and gauge symmetry on orbifold, Prog. Theor. Phys. **113**, 199–213 (2005).
- N. Haba and T. Yamashita, Vacuum structure in 5D $SO(10)$ GUT on S^1/Z_2 , Phys. Lett. B **597**, 166–172 (2004).
- N. Haba and T. Yamashita, Dynamical symmetry breaking in gauge-Higgs unification of 5D $N = 1$ SUSY theory, JHEP **0404**, 016 (2004).
- N. Haba and T. Yamashita, The general formula of the effective potential in 5D $SU(N)$ gauge theory on orbifold, JHEP **0402**, 059 (2004).

- N. Haba, Y. Hosotani, Y. Kawamura and T. Yamashita, Dynamical symmetry breaking in gauge-Higgs unification on orbifold, Phys. Rev. D **70**, 015010 (2004).
- K. Choi, N. Haba, K. S. Jeong, K. Okumura, Y. Shimizu and M. Yamaguchi, Electroweak symmetry breaking in supersymmetric gauge-Higgs unification models, JHEP **0402**, 037 (2004).

6.2 国際会議発表

• A01 計画

- Takashi Suzuki, “Search for Top Decay to $X^+ + b$ where X^+ is a Charged Scalar Particle Using $W + 4$ Jet Sample at CDF”, APPI 2002: 7th Accelerator and Particle Physics Institute, Iwate, Japan, February 13–16, 2002.
- Fumihiko Ukegawa, “QCD Results from CDF”, Current and Future Directions at RHIC, RIKEN BNL Research Center, BNL, Upton, NY, USA, August 5 – 23, 2002.
- Kazuhiro Yamamoto, “Present Status of Tevatron Physics & Prospect with Higher Luminosity”, International Workshop: Recent Progress in Induction Accelerators (RPIA2002), KEK, Tsukuba, Japan, October 29–31, 2002.
- Yuji Takeuchi, “Status and Prospects on Top Physics at CDF”, APPI 2003: Accelerator and Particle Physics Institute, Iwate, Japan, February 25 – 28, 2003.
- Satoru Uozumi, “Measurement of the B Meson Lifetimes using Semileptonic Decays in CDF Run 2 ”, APS Meeting, Philadelphia, Pennsylvania, USA, April 5 – 8, 2003.
- Tomohiro Yamashita, “ Measurement of $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi\Lambda$ and $B^0 \rightarrow J/\psi K_S^0$ at CDF with Run 2 Data”, APS Meeting, Philadelphia, Pennsylvania, USA, April 5 – 8, 2003.
- Takashi Ogawa, “ $Z \rightarrow \tau\tau$ and R parity violating SUSY search with taus at CDF Run 2 ”, APS Meeting, Philadelphia, Pennsylvania, USA, April 5 – 8, 2003.
- Naho Tanimoto, “Study of $W + \gamma, W \rightarrow \mu\nu$ Production at the Tevatron ”, APS Meeting, Philadelphia, Pennsylvania, USA, April 5 – 8, 2003.
- Koji Ikado, “Searches for Z' and Extra Dimensions in CDF”, SUSY 2003, Tucson, Arizona June 5 – 9, 2003
- Yuji Takeuchi, “Status and Prospects on Top Physics at CDF”, 8th Accelerator and Particle Physics Institute (APPI 2003), Appi, Iwate, Japan, February 25–28, 2003.
- Yoshiyuki Miyazaki, “Search for R -parity Violating Supersymmetric Top Quark in Proton-antiproton Collisions at CDF”, APS April Meeting 2003, Philadelphia, Pennsylvania, April 5 - 8, 2003
- Takashi Ogawa, “ $Z \rightarrow \tau\tau$ and R parity violating SUSY search with taus at CDF Run 2”, APS April Meeting 2003, Philadelphia, Pennsylvania, April 5 - 8, 2003
- Tomohiro Yamashita, “Measurement of $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi\Lambda$ and $B^0 \rightarrow J/\psi K_S^0$ at CDF with Run 2 Data” APS April Meeting 2003, Philadelphia, Pennsylvania, April 5 - 8, 2003
- Naho Tanimoto, “Study of $W + \gamma, W \rightarrow \mu\nu$ Production at the Tevatron”, APS April Meeting 2003, Philadelphia, Pennsylvania, April 5 - 8, 2003

- Satoru Uozumi, “Measurement of the B Meson Lifetimes using Semileptonic Decays in CDF Run 2”, APS April Meeting 2003, Philadelphia, Pennsylvania, April 5 - 8, 2003
- Koji Ikado, “Searches for Z' and Extra Dimensions in CDF”, SUSY 2003, Tucson, Arizona, June 5–9 2003.
- Soushi Tsuno, “Studies of W +jets and Prompt Diphoton Production with the CDF Detector”, International Europhysics Conference on High-Energy Physics (HEP 2003), Aachen, Germany, July 17–23 2003.
- Fumihiko Ukegawa, “ B Physics at CDF”, Third International Workshop on B Physics and CP Violation, Taipei, Taiwan, September 29 – October 1, 2003.
- Shinhong Kim, “ B Physics at CDF”, Second International Conference on Flavor Physics, Seoul, Korea, October 6–11, 2003.
- Kohei Yorita, “Top quark mass measurement in lepton+jets events at CDF with DLM”, APS April meeting 2004, Denver, Colorado, May 1–4, 2004.
- Koji Sato, “Top quark mass measurement in ℓ +jets events at CDF with double b -tags”, APS April meeting 2004, Denver, Colorado, May 1–4, 2004.
- Masato Aoki, “Search for the Decay $B_c \rightarrow J/\psi + e + X$ ”, APS April meeting 2004, Denver, Colorado, May 1–4, 2004.
- Takashi Akimoto, “Search for Gauge-Mediated Supersymmetry Breaking with a stau NLSP scenario at CDF”, APS April meeting 2004, Denver, Colorado, May 1–4, 2004.
- Yoshio Ishizawa, “Search for Higgs Production in Association with W Boson at Tevatron”, APS April meeting 2004, Denver, Colorado, May 1–4, 2004.
- Soushi Tsuno, “Recent results in high pT physics at CDF II” (Plenary talk), XVIIIth International Workshop on High Energy Physics and Quantum Field Theory (QFTHEP 2004), St. Peterburg, Russia, June 17–23, 2004.
- Fumihiko Ukegawa, “Electroweak, Top and Bottom Physics at the Tevatron” (Plenary talk), 12th International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions, Tsukuba, Ibaraki, Japan, June 17–23, 2004.
- Kohei Yorita, “Top Quark Mass Measurement in the lepton+jets channel using Template Method and Dynamical Likelihood Method at CDF”, DPF2004: Annual Meeting of the Division of Particles and Fields (DPF) of the American Physical Society (APS), University of California, Riverside, August 27–31, 2004.
- Yoshio Ishizawa, “Search for New Particles Decaying into $b\bar{b}$ Associated with W Boson at Tevatron”, DPF2004: Annual Meeting of the Division of Particles and Fields (DPF) of the American Physical Society (APS), University of California, Riverside, August 27–31, 2004.

- Yoshio Ishizawa, “ $WH \rightarrow \ell\nu b\bar{b}$ at the Tevatron”, 1st meeting of the TeV4LHC workshop, Fermilab, Illinois, September 16–18, 2004.
- Yuji Takeuchi, “Top Cross Section Measurements at the Tevatron”, Top Quark Symposium, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, April 7–8, 2005
- Takashi Akimoto, “Search for Scalar and Vector Third Generation Leptoquarks with one τ Decaying to an Electron”, APS April Meeting 2005, Tampa, Florida, April 16–19, 2005.
- Masato Aoki, “ $B_c \rightarrow J/\psi + e^\pm$ decays at CDF”, APS April Meeting 2005, Tampa, Florida, April 16–19, 2005.
- Yoshio Ishizawa, “Search for a New Particle $X(\rightarrow b\bar{b})$ Production in Association with a W^\pm Boson at the Tevatron”, APS April Meeting 2005, Tampa, Florida, April 16–19, 2005.
- Tomonobu Tomura, “Top Mass at the Tevatron”, Hadron Collider Physics Symposium 2005, Les Diablerets, Switzerland, July 4–9, 2005.
- Koji Sato, “Top Mass Measurement at the Tevatron”, HEP2005 Europhysics Conference, Lisbon, Portugal, July 21–27, 2005.
- Hiroyuki Matsunaga, “CDF Distributed Computing”, HEP Data Grid Workshop 2005, KEK, Tsukuba, November 21–22, 2005.
- Takasumi Maruyama, “Current results and Future Prospects of Tevatron”, Ninth Workshop on High on High Energy Physics Phenomenology (WHEPP 9), Bhubaneswar, India, January 3–14, 2006.
- Shinhong Kim, “Welcome and opening”, Fourth Workshop on Mass Origin and Supersymmetry Physics, Tsukuba, Japan, March 6–8, 2006.
- Takasumi Maruyama, “Higgs searches and top properties at CDF”, Fourth Workshop on Mass Origin and Supersymmetry Physics, Tsukuba, Japan, March 6–8, 2006.
- Fumihiko Ukegawa, “B physics at CDF”, Fourth Workshop on Mass Origin and Supersymmetry Physics, Tsukuba, Japan, March 6–8, 2006.

- A01 公募

- T.Sanuki “C+X option for energy upgrade” The 5th ACFA Workshop on Physics and Detector at Linear Collider, Tokyo, July 2003
- S. Yamashita “Possibilities for the Experimental Programs” plenary talk at International Workshop on Linear Colliders, Aug, 2002, Jeju Island, Korea
- S. Komamiya “Concluding Talk” plenary talk at International Workshop on Linear Colliders, Aug, 2002, Jeju Island, Korea
- S. Komamiya “Summary and Closing” ACFA LC Symposium, 2003, Feb, Tsukuba

- H. Matsunaga, “Calorimeters”, The 5th ACFA workshop on physics and detector at linear collider, 2002 July 10-12, Tokyo, Japan.
- H. Matsunaga, “Design and performance of fine-granularity scintillator-strip EM calorimeter”, International workshop on linear colliders, August 26-30, Jeju, Korea.
- Y. Fujii, “Simulation and design optimization of fine-granularity tile/fiber EM calorimeter”, International workshop on linear colliders, 2002 August 26-30, Jeju, Korea.
- H. Matsunaga, “Test beam studies of EM calorimeter test module”, American linear collider workshop, 2003 January 9-11 Arlington, USA.
- Y. Fujii, “Studies of Plastic-scintillator-based EM-Calorimeter”, The 4th ECFA/DESY linear collider workshop, 2003 April 1-4, Amsterdam, Netherland.
- T. Takeshita, “Calorimetry efforts in Asia”, American linear collider workshop, 2003 July 13-16, Cornell, USA.
- K.Takayama et al., ”A POP Experiment Scenario of Induction Synchrotron at the KEK 12GeV-PS”, 2003 Particle Accelerator Conference (May 13-16, 2002, Portland in US)
- K.Torikai et al., ”Design Study of 1 MHz Induction Cavity for Induction Synchrotron”, 2003 Particle Accelerator Conference (May 13-16, 2002, Portland in US)
- K.Koseki et al., ”R&D Works on 1MHz Power Modulator for Induction Synchrotron”, 2003 Particle Accelerator Conference (May 13-16, 2002, Portland in US)
- M.Sakuda, “Development of Superbunch Acceleration and its application to FNAL”, Physics at High Energy Frontiers (March 17-18, 2003, Kyoto)
- J.Kishiro et al., ”Induction Synchrotron and a POP Experiment in the KEK 12GeV-PS”, The International Workshop on Recent Progress in Induction Accelerators (RPIA2002)(October 29-31, 2002, KEK)
- K.Takayama, ”Super-bunch Hadron Colliders”, The International Workshop on Recent Progress in Induction Accelerators (RPIA2002)(October 29-31, 2002, KEK)
- R.Yamada, ”62 TeV Hadron Collider with Super-bunch Beams”, The International Workshop on Recent Progress in Induction Accelerators (RPIA2002)(October 29-31, 2002, KEK)
- M.Sakuda, ”Neutrino Oscillation Experiments and KEK-PS”, The International Workshop on Recent Progress in Induction Accelerators (RPIA2002)(October 29-31, 2002, KEK)
- K.Torikai, ”High Rep-rate Induction Cavity”, The International Workshop on Recent Progress in Induction Accelerators (RPIA2002)(October 29-31, 2002, KEK)
- M.Watanabe et al., ”Magnetic Core Studies and Beam Loading Effects for Repetitive Induction Modulator”, The International Workshop on Recent Progress in Induction Accelerators (RPIA2002)(October 29-31, 2002, KEK)

- K.Koseki, "Modulator R&D at KEK", The International Workshop on Recent Progress in Induction Accelerators (RPIA2002)(October 29-31, 2002, KEK)
- Y.Shimosaki, "Beam-beam Effects in Inclined Super-bunch Crossing", The International Workshop on Recent Progress in Induction Accelerators (RPIA2002)(October 29-31, 2002, KEK)
- T.Toyama, K.Takayama, "Collective Instability of a Super-bunch", The International Workshop on Recent Progress in Induction Accelerators (RPIA2002)(October 29-31, 2002, KEK)
- K.Takayama et al., "Induction Accelerating Devices for Induction Synchrotrons and the Superbunch VLHC", 2002 Europe Particle Accelerator Conference (June, 2002, Paris)
- K.Takayama et al., "Superbunch Acceleration and Its Applications", 2002 Europe Particle Accelerator Conference (June, 2002, Paris)
- J.Kishiro, "Superbunch acceleration and induction devices", 20th ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High Intensity and High Brightness Hadron Beams (ICFA-HB2002)(8-12 April 2002, FNAL)
- T. Morozumi, "Higgs in supersymmetric seesaw and difference from MSSM", Forth Workshop on Mass Origin and Supersymmetry Physics (March 6-8, 2006).
- R.Ichimiya, S.Tsuji, C. Fukunaga, O. Sasaki et al., "Irradiation tests of ROHM 0.35um ASIC and Actel Anti-fuse FPGA for the ATLAS muon endcap level-1 trigger system", the 10th workshop on electronics for LHC and future experiments (Boston, USA, Sep.13-17, 2004)
- R.Ichimiya, S.Tsuji, C. Fukunaga, O. Sasaki et al., "Radiation qualification of Commercial-Off-The-Shelf LVDS and G-link serializers and deserializers for the ATLAS endcap muon level-1 trigger system", the 10th workshop on electronics for LHC and future experiments (Boston, USA, Sep.13-17, 2004)
- T.Takeshita, "Calorimeter summary", 2004 ACFA Workshop on Physics and Detector at the Linear Collider at Taipei.
- K. Kawagoe, "Review of Calorimeter R& D", 2004 ACFA Workshop on Physics and Detector at the Linear Collider at Taipei .
- T. Takeshita, "Design consideration for the scintillator strip ECAL electronics", 2005 LCWS06 at SLAC , .
- K. Kawagoe, "Asian Calorimeter Activites and plans", 2005 LCWS06 at SLAC.
- S. Itoh (Shinshu U), "Digital calorimeter parameters", 2005 ACFA8 at Daegu.
- T.Takeshita, " GLD-Calorimter summary", 2005 ALCWS at Snowmass.

- T.Takeshita, " Progress of MPPC development", 2005 ECFA Workshop on Physics and Detector at the Linear Collider at Vienna.
- T.Takeshita, "Development of MPPC ", 2006 LCWS06 at Bangalore.
- A02 計画, A02 公募
 - T. Tomura: Results of Bd oscillation at Belle experiment, International workshop on Heavy Quarks and Leptons, 27 May - 1 June 2002, Vietri sul Mare, Salerno, Italy
 - T. Tomura: Rare Hadronic B Decays and Direct CPV from Belle and BaBar, XXXVIIth Rencontres de Moriond on Electroweak Interactions and Unified Theories, March 15-22, 2003, Les Arcs, France.
 - T. Nakadaira: CP Violation in $B^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ at Belle, *ibid.*
 - H. Aihara: Charmless B Decays Involving η, η' and Vector Mesons, Flavor Physics and CP Violation, June 3-6, 2003, Paris, France.
 - M. Iwasaki : Measurement of the Electroweak Penguin Process $B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-$, The 11th Annual International Conference on Supersymmetry and the Unification of the Fundamental Interactions (SUSY2003), June 5-10, 2003. Tucson, Arizona.
 - H. Aihara: Results from B-factories and perspectives, Advanced Studies Institute Physics at LHC (LHC-Praha-2003), Prague, July 6 - July 12, 2003.
 - H. Aihara: Rare B Decays at Belle and BaBar, 31st SLAC Summer Institute Topical Conference, Aug 6-8, 2003.
 - M. Iwasaki : Observation of B to $K^* \ell \ell$ and related modes," 39th Rencontres De Moriond On Electroweak Interactions And Unified Theories, 21-28 Mar 2004, La Thuile, Aosta Valley, Italy
 - H. Aihara: "Recent results from Belle," 13th International Seminar on High Energy Physics, Quarks-2004, Pushkinskie Gory, Russia, May 24-30, 2004.
 - H. Kakuno : "Time dependent CP violation in B to $\pi^+\pi^-$ decay ," The XXXXth Rencontres de Moriond on ELECTROWEAK INTERACTIONS AND UNIFIED THEORIES, La Thuile, Aosta Valley, Italy, March 5-12, 2005.
 - H. Aihara: " ϕ_2 and ϕ_3 related CP Violation Measurements," American Physical Society Meeting, Apr. 16-19, 2005, Tampa, Florida
 - H. Aihara: "Rare Decays of B and D Mesons and Flavor Physics," Italian Physical Society International School of Physics " Enrico Fermi "CP Violation from quarks to leptons, 19-29 July 2005, Varenna, Italy

- 2006 Aspen Winter Conference on Particle Physics Program, Aspen, Colorado, February 12-18, 2006.
 - H. Aihara: “Experimental Summary,” Moriond/ QCD 2006, La Thuile, Italy, March 18-25, 2006.
 - A. Kusaka: “Constraint on CKM angle ϕ_2 from B decays,” Particles and Nuclei International Conference (PANIC05), October 24-28, 2005, Santa Fe, NM, U.S.A.
 - N. Hastings: “Measurement of $\sin 2\phi_1$ in $b \rightarrow c$ and $b \rightarrow s$ decays,” Lake Louise Winter Institute, Alberta, Canada, February 17-23, 2006.
 - A. Kusaka: “Time-dependent CP analysis, vertexing technique in Belle, ”Talk given at 3rd Workshop on the Unitarity Triangle (CKM2005), 15-18 March 2005, University of California San Diego, CA, U.S.A.
 - R. Ishida and Y. Nakahama: “R&D of Residual Gas Beam Profile Monitor,” IEEE Nuclear Science Symposium 2004, Rome, Italy, Oct. 16-22, 2004.
 - K. Itoh: “Research and Development of Event Building Farm for SuperKEKB”, *ibid.*
 - T. Higuchi et al. IEEE Nuclear Science Symposium (Rome Italy, October 2004) ”Development of a PCI based data acquisition platform for high intensity accelerator experiments”
 - Y. Kurosawa (Kyoto University), “ T2K Muon Monitor ”, at “ The 5th International Workshop on Neutrino Beams and Instrumentation (NBI2005) ”, July 7-11, 2005, Fermilab.
 - K. Matsuoka (Kyoto University), “ CVD diamond detector as a beam monitor for a high intensity and high luminosity accelerator ”, at “ Mass Origin and Supersymmetry Physics ”, March 6-8, 2006, Tsukuba
- A03 計画, A03 公募
 - International Europhysics Conference on High Energy Physics (17 - 23 July 2003, Aachen, Germany)
 - T. Ohshima, ”Rare tau decays”
 - 7th Internatinal Workshop on Tau Lepton Physics (10 - 13 September 2002, Santa Cruz, CA, USA)
 - H. Hayashii, ”Branching fraction and $\pi\text{-}\pi^0$ Spectral Function in the decay $\tau \rightarrow \pi\pi^0\nu$ ”
 - Y. Yusa, ”Serch for neutrinoless tau decays to three charged final state at Belle”
 - K. Inami, ”Search for Electric Dipole Moment of the Tau Lepton at Belle”
 - K. Inami, ”Search for $\tau \rightarrow \mu\gamma$ at Belle”
 - American Physical Society’s 2002 Meeting of The Division of Particles and Fields (24 - 28 May 2002, Williamsburg, Virginia, USA)

- K. Inami, "A Search for the Electric Dipole Moment of the tau lepton at Belle"
- T. Hokuue, "Search for Lepton Flavor Violating $\tau \rightarrow \mu\gamma$ decay at Belle"
- Y. Yusa, "Search for neutrinoless tau decays to three charged final state at Belle"
- International Conference on High Energy Physics of the European Physical Society (12 - 18 July 2001, Budapest, Hungary)
- T. Ohshima, "Search for $\tau \rightarrow \mu\gamma$ decay at Belle"
- Fourth Workshop on RICH Detectors (5 - 10 June 2002, Pylos, Greece)
- T. Ohshima, "R&D status on Time-Of-Propagation(TOP) counter"
- 8th International Conference on Instrumentation for Colliding Beam Physics (28 February - 6 March 2002, Novosibirsk, Russia)
- Y. Enari, "Progress report on Time-Of-Propagation counter"
- T. Hokuue, "R&D on Fine-mech multi-anode PMT with T.T.S=100ps under $B \leq 1T$ "
- 9th Pisa meeting on advanced detectors (25 - 31 May 2002, La Biodola, Isola d'Elba, Italy)
- T. Matsumoto, "Studies of a proximity focusing RICH with Aeogel radiator"
- 4th Workshop on RICH Detectors (5 - 10 Jun. 2002, Pylos, Greece)
- T. Ohshima, "R&D status on Time-Of-Propagation(TOP) counter"
- T. Iijima, I. Adachi, I. Bizjak, A. Gorisek, M. Iwamoto, S. Korpar, P. Krizan, R. Pestotnik, M. Staric, A. Stanovnik, T. Sumiyoshi, K. Suzuki, T. Tabata "Test of a proximity focusing RICH with aerogel as radiator"
- International Europhysics Conference on High Energy Physics (17 - 23 Jul. 2003, Aachen, Germany)
- T. Ohshima, "Rare tau decays"
- 5th Workshop on higher Luminosity B Factory (24 - 26 Sep. 2003, Izu, Japan)
- K. Inami, "TOF upgrades"
- A. Sugi, "Status of TOP counter"
- M. Akatsu, "Development of MCP-PMT"
- 19th International Workshop on Weak Interactions and Neutrinos (6 - 11 Oct. 2003, Lake Geneva, Wisconsin, USA)
- K. Inami, "Search for Lepton Flavor Violating tau decays"
- Super B factory workshop (19 - 22 Jan. 2004, Honolulu, USA)
- K. Inami, "TOP/TOF R&D"
- 10th Vienna Conference on Instrumentation (16 - 21 Feb. 2004, Wien, Austria)
- T. Iijima, "Recent Development of PID Detectors and Photodetection Devices"

- 32nd International Conference on High Energy Physics (16 - 22 Aug. 2004, Beijing, China)
 - T. Ohshima, "Lepton Flavor Violation Search at B Factories"
- Meeting of the Division of Particles and Fields of the American Physical Society
 - Y. Enari, "Search for new physics with Rare Tau Decays"
- 8th International Workshop on Tau Lepton Physics (14 - 17 Sep. 2004, Nara, Japan)
 - K. Hayasaka, "Search for $\tau \rightarrow e\gamma$ and $\mu\gamma$ "
 - Y. Enari, "Search for $\tau \rightarrow \ell\pi^0/\eta/\eta'$ "
 - N. Sato, "Search for Lepton and Baryon Number Violating τ^- Decays into $\bar{p}\gamma$, $\bar{p}\pi^0$, $\bar{\Lambda}pi^-$ and $\Lambda\pi^-$ "
- 2004 IEEE, Nuclear Science Symposium (16 - 22 Oct. 2004, Rome, Italy)
 - K. Inami, "A TOF Counter of sigma 10ps with Cherenkov Photons and a MCP-PMT"
 - S. Nishida, "Studies of a Proximity Focusing Aerogel RICH for the Belle Upgrade"
- 6th Workshop on higher Luminosity B Factory (16 - 18 Nov. 2004, Tsukuba, Japan)
 - K. Inami, "TOP R&D status"
- 5th International Workshop on Ring Imaging Cherenkov Detectors (30 Nov. - 5 Dec. 2004, Mexico)
 - T. Iijima, "Studies of Timing Property of MCP-PMT for Single Photon Detection"
 - T. Iijima, "Development of RICH counters for Upgrade of the Belle Detector"
 - A.Ichiro, "Study of highly transparent silica aerogel as a RICH radiator"
 - S.Korpar, "RICH with multiple aerogel layers of different refractive index"
- HEP2005 International Eutophysics Conference on High Energy Physics, EPS2005 (21 - 27 July 2005, Lisbon, Portugal)
 - Y. Miyazaki, "Search for Lepton Flavor Violation in tau decays at B-factories"
- Pico-Sec Timing Hardware Workshop (18 Nov. 2005, Chicago, USA)
 - T. Ohshima, "Timing Properties of MCP-PMT Devices"
- International workshop e+e- collisions from phi to psi at BINP (27 Feb. - 2 Mar. 2006, Novosibirsk, Russia)
 - K. Inami, "Search for Lepton-Flavor-Violating tau decays at B-factory"

- A04 計画

- Yau Wai Wah: "Rare Kaon Physics at JHF",
International Workshop on Nuclear and Particle Physics at 50GeV PS, (2001年12月10-12日), KEK.
- GeiYoub Lim: " $K_L \rightarrow \pi^0 \nu\bar{\nu}$ ",

- International Workshop on Nuclear and Particle Physics at 50GeV PS, (2001年12月10-12日), KEK.
- 山中卓: "Rare Kaon Experiment at JHF",
International Workshop on Nuclear and Particle Physics at 50GeV PS, (2001年12月10-12日), KEK.
 - 山中卓: "Rare Decays at KTeV and NA48",
HQ&L2002 - International Workshop on Heavy Quark and Leptons, Vietri sul Mare, Salerno, Italy, May 27 - June 1, 2002.
 - 山中卓: "Kaon Factories",
International Workshop on Frontier Science, Frascati, Italy, October 6-11, 2002.
 - Ya. Wai Wah: "Physics of K_L Decay",
International Workshop on Nuclear and Particle Physics at 50GeV PS, (2002年9月27-29日), 京都大学
 - GeiYoub Lim: "Sensitivities at JHF",
International Workshop on Nuclear and Particle Physics at 50GeV PS, (2002年9月27-29日), 京都大学
 - Hiroaki Watanabe: "Beam related background",
International Workshop on Nuclear and Particle Physics at 50GeV PS, (2002年9月27-29日), 京都大学
 - Yau Wai Wah: "How to 'measure' background level (KAMI)",
International Workshop on Nuclear and Particle Physics at 50GeV PS, (2002年9月27-29日), 京都大学
 - 稲垣隆雄: "New calorimeter",
International Workshop on Nuclear and Particle Physics at 50GeV PS, (2002年9月27-29日), 京都大学
 - 山中卓: "Considerations for the $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ experiment",
International Workshop on Nuclear and Particle Physics at 50GeV PS, (2002年9月27-29日), 京都大学
 - 佐藤任弘: "Neutral kaon beam in K-hall",
International Workshop on Nuclear and Particle Physics at 50GeV PS, (2002年9月27-29日), 京都大学
 - 山中卓: "Kaon Rare Decay Experiments",
International Workshop on Nuclear and Particle Physics at 50GeV PS, (2002年9月27-29日), 京都大学

- 山鹿光裕: " $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ experiment at KEK 12-GeV PS - E391a - ",
PaNic02 - XVI Particles and Nuclei International Conference (2002年9月30日-10月4日),
大阪.
- 菅谷頼仁: "DAQ system for the $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ search at KEK-PS",
13th IEEE-NPSS Real Time Conference 2003, (2003年5月22日), Montreal, Canada.
- 小松原 健, "Future Kaon Program at KEK/J-PARC",
2004年6月, Physics at Meson Factories (フラスカッチ, イタリア).
- 稲垣隆雄, "An experiment for the $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ decay, KEK-E391a",
2004年6月, Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions (つくば).
- 山鹿光裕, "J-PARC KL experiment"
2004年8月, NP04 (東海).
- 山中 卓, "Kaon decays in particle physics",
2004年8月, NP04 (東海).
- 林 ケヨブ, "Status of E391a - Search for $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ decay",
2004年8月, 第32回高エネルギー物理学国際会議 (北京, 中国), .
- 山中 卓, "KTeV Results on $|V_{us}|$ and Rare Decays",
ICHEP2004 - 32nd International Conference on High Energy Physics, Beijing, China, Au-
gust 16-22, 2004.
- 山鹿光裕, " $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ experiment at J-PARC",
2004年10月, Fermilab Proton Driver workshop (Fermilab, 米国).
- 小松原 健, "Rare Kaon Decays - a review of results",
2004年11月, Flavor Physics and CP Violation (テグ, 韓国).
- 林 ケヨブ, "Status of E391a",
K-Rare Decays, Frascati, Italy, May 26-27, 2005.
- 山中 卓, " $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ at J-Parc",
K-Rare Decays, Frascati, Italy, May 26-27, 2005.
- 坂下 健, "First E391 Results on $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ ",
KAON2005, Evanston, IL, June 13-17, 2005.
- 山中 卓, " $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ at J-Parc",
KAON2005, Evanston, IL, June 13-17, 2005.
- 稲垣隆雄, "Status of E391 experiment for the rare decay $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ ",
2005年8月, Lomonosov Conf., (モスクワ大学, ロシア).
- 稲垣隆雄, "Status of E391 experiment for the rare decay $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ ",
2005年10月, ICFP 2005, (セントラル大学, 台湾).

- 山中 卓, "Experimental Perspectives in Kaon Physics",
DIF06 - International Workshop on Discoveries in Flavour Physics at e^+e^- Colliders, Frascati, Italy, February 28 - March 3rd, 2006.
- 野村 正, "Status of rare K decays: experiments",
2006 年 7 月, BEACH 2006 (ランカスター, 英国).
- Mikhail Doroshenko, "Status of E391a for the $K_L^0 \rightarrow \pi^0\nu\bar{\nu}$ decay",
2006 年 7 月, 第 33 回高エネルギー物理学国際会議 (モスクワ, ロシア).

- A05 計画

- T. Komatsubara, " $K^+ \rightarrow \pi^+\nu\bar{\nu}$ with stopped kaons", International Workshop on Nuclear and Particle Physics at 50-GeV PS (*NP02*), Kyoto, Sep. 27-29, 2002.
- T. Komatsubara, " $K_L \rightarrow \pi^0\nu\bar{\nu}$ with a Charged Spectrometer", International Workshop on Nuclear and Particle Physics at 50-GeV PS (*NP02*), Kyoto, Sep. 27-29, 2002.
- T. Komatsubara, "Charged kaon beams in K-hall", International Workshop on Nuclear and Particle Physics at 50-GeV PS (*NP02*), Kyoto, Sep. 27-29, 2002.
- T. Yoshioka et al., "Upgrade of the Level-0 Trigger System for BNL-E949", 13th IEEE-NPSS Real Time Conference 2003, Montreal, Canada, May 18-23, 2003.
- M. Kobayashi, "Modification of scintillation characteristics of $CdWO_4$ by doping with different ions", *LUMDETR2003*, Prague, September 2003, Proc.: *Rad. Meas.* **38**(2004)375-379.
- M. Kobayashi et al., "Significant increase in fast scintillation component from $PbWO_4$ by annealing", 7th International Conference on Inorganic scintillators and Industrial Applications (*SCINT 03*), Spain, September 8-12, 2003.
- T. Sekiguchi, "The performance of CsI calorimeter in E787/E949 experiments", KEK-RCNP International School and mini-Workshop for Scintillating Crystals and their Applications in Particle and Nuclear Physics, KEK, Nov.17-18, 2003, proceedings: "Scintillating Crystals" KEK Proc. **2004-4** (2004)137-141.
- M. Kobayashi, "Introduction to scintillating crystals", KEK-RCNP International School and mini-Workshop for Scintillating Crystals and their Applications in Particle and Nuclear Physics, 2003, "Scintillating Crystals" KEK Proc. **2004-4** (2004)5-14.
- Y. Sano et al., "Observation of infrared scintillation light in CsI(Tl)", KEK-RCNP International School and mini-Workshop for Scintillating Crystals and their Applications in Particle and Nuclear Physics, 2003, "Scintillating Crystals" KEK Proc. **2004-4** (2004)117-121.

- K. Mizouchi et al., “Gain monitor system in E949”, KEK-RCNP International School and mini-Workshop for Scintillating Crystals and their Applications in Particle and Nuclear Physics, 2003, ”Scintillating Crystals” KEK Proc. **2004-4** (2004)235-241.
- T. Yoshioka, “Online photon veto in BNL-E949 trigger”, KEK-RCNP International School and mini-Workshop for Scintillating Crystals and their Applications in Particle and Nuclear Physics, 2003, ”Scintillating Crystals” KEK Proc. **2004-4** (2004)251-255.
- T.K. Komatsubara, “Current and future kaon programs at KEK/J-PARC”, Workshop on Future Kaon Experiments at the AGS, BNL, May 13, 2004.
- T. Sekiguchi, “Recent Results on $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ ”, *DAΦNE 2004: Physics at meson factories*, Frascati, June 7-11 June 2004, *Frascati Physics Series* Vol. **36**(2004), 281-286.
- T.K. Komatsubara, “Future Kaon Program at KEK/J-PARC”, *DAΦNE 2004: Physics at meson factories*, Frascati, June 7-11, 2004, *Frascati Physics Series* Vol. **36**(2004)305-310.
- T.K. Komatsubara, “Kaon Decay Experiments”, The 3rd International Workshop on Nuclear and Particle Physics at J-PARC (*NP04*), Tokai, August 2-4, 2004.
- H. Morii, “KOPIO experiment at BNL”, The 3rd International Workshop on Nuclear and Particle Physics at J-PARC (*NP04*), Tokai, August 2-4, 2004.
- T. Nomura, “First results from BNL E949 on the rare decay $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ ”, 5th Rencontres du Vietnam, Particle Physics and Atrophysics, Hanoi, August 5-11, 2004.
- T.K. Komatsubara, “Rare Kaon Decays - a review of results 2004”, Flavor Physics And CP Violation (*FPCP 2004*), Daegu, Korea, October 4-9, 2004.
- T.K. Komatsubara, “ K^+ Physics at J-PARC”, *K-RARE Meeting: Experimental Challenges in $K \rightarrow \pi \nu \bar{\nu}$ Measurements*, LNF, Frascati, Italy, May 26-27, 2005, <http://www.lnf.infn.it/conference/krare2005/>.
- T. Nomura, “KOPIO catcher”, *K-RARE Meeting: Experimental challenges in $K \rightarrow \pi \nu \bar{\nu}$ measurements*, Frascati, 26-27 May, 2005.
- T. Nomura, “High QE photomultipliers”, *K-RARE Meeting: Experimental challenges in $K \rightarrow \pi \nu \bar{\nu}$ measurements*, Frascati, 26-27 May, 2005.
- T. Tsunemi, “New Results on $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \gamma$ from E787”, *KAON 2005 International Workshop*, Northwestern University, June 13-17, 2005.
- T.K. Komatsubara, “ $K^+ \rightarrow \pi^+ \gamma \gamma$ and $\pi^+ \gamma$ from E949”, *KAON 2005 International Workshop*, Northwestern University, June 13-17, 2005.
- K. Mizouchi, “New Results on $\pi^0 \rightarrow \nu \bar{\nu}$ and Implication in Future Measurements”, *KAON 2005 International Workshop*, Northwestern University, June 13-17, 2005.

- M. Kobayashi, “Ce-doped heavy scintillating glasses with high Ln_2O_3 concentrations (Ln=La, Y, Gd, Lu)”, the Eighth International Conference on Inorganic Scintillators and their Use in Scientific and Industrial Applications (*SCINT2005*), September 19-23, 2005, Crimea, Ukraine. Proceedings: “*SCINT2005*” 101-105.
 - S. Sugimoto, “Uniformity in large-size GSO:Ce single crystals”, the Eighth International Conference on Inorganic Scintillators and their Use in Scientific and Industrial Applications (*SCINT2005*), September 19-23, 2005, Crimea, Ukraine. Proceedings: “*SCINT2005*” 254-256.
 - T.K. Komatsubara, “J-PARC: new frontiers in Hadron Physics”, *EINN05* Workshop on “Physics and Technology Frontiers of Facilities for Hadron Physics”, Milos, Greece, September 19-20, 2005,
http://www.iasa.gr/EINN_2005/index.html.
 - T.K. Komatsubara, “Future Kaon Program at J-PARC”, Flavour in the Era of the LHC, A workshop on the interplay of flavour and collider physics, CERN, Geneva, Switzerland, November 7-10, 2005,
<http://mlm.home.cern.ch/mlm/FlavLHC.html>.
 - T. Nomura, “Development of an aerogel-based photon detector”, Fourth Workshop on Mass Origin and Supersymmetry Physics”, Tsukuba, Japan, March 6-8, 2006.
 - K. Mizouchi, “Search for the decay $\pi^0 \rightarrow \nu\bar{\nu}$ ”, Fourth Workshop on Mass Origin and Supersymmetry Physics, Tsukuba, Japan, March 6-8, 2006.
 - T. Nomura, “Status report on rare K decays : experiments”, The 7th International Conference on Hyperons, Charm And Beauty Hadrons, *BEACH 2006*, Lancaster, 2-8 July, 2006.
- A06 計画
- M. Tanabashi, Cosmic microwave background from late-decaying scalar condensations, 10th International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions (SUSY02), Hamburg, Germany, June 17–23, 2002.
 - Y. Yamada, Two-loop renormalization of $\tan\beta$ and its gauge dependence, 10th International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions (SUSY02), Hamburg, Germany, June 17–23, 2002.
 - K. Hikasa, SUSY, 5th ACFA Workshop on Physics and Detector at Linear Collider, Tokyo, July 10–12, 2002.

- M. Tanabashi, An Evaluation of f_π from $\alpha_s(M_Z)$ in the Schwinger-Dyson Approach, 2002 International Workshop on Strong Coupling Gauge Theories and Effective Field Theories, Nagoya, Aichi, December 10–13, 2002.
- M. Yamaguchi, Sfermion masses and lepton flavor violation, 4th Workshop on Neutrino Oscillation and Their Origin (NOON03), Kanazawa, Japan, February 10–14, 2003.
- Y. Yamada, Beyond LO corrections to $b \rightarrow s\gamma$ at large $\tan\beta$: the charged Higgs contribution, APPI 2003: the 8th Accelerator and Particle Institute, Appi, Iwate, February 25, 2003.
- M. Yamaguchi, Sfermion masses and flavor violation, KIAS-KAIST Joint Workshop on Physics beyond Standard Model, Seoul, Korea, May 6–10, 2003.
- T. Moroi, The curvaton mechanism, KIAS-KAIST Joint Workshop on Physics beyond Standard Model, Seoul, Korea, May 6–10, 2003.
- Y. Yamada, Large $\tan\beta$ SUSY QCD corrections to $B \rightarrow X_s\gamma$, 2nd International Conference on Flavor Physics (ICFP2003), KIAS, Seoul, Korea, October 6–11, 2003.
- T. Moroi, Curvaton mechanism and its implication to (s)neutrino physics, SEESAW04, Neutrino Mass and Seesaw Mechanism, KEK, Tsukuba, February 23–25, 2004.
- M. Yamaguchi, Revisiting cosmology of heavy gravitino scenario, From the Planck Scale to the Electroweak Scale (Planck04), Bad Honnef, Germany, May 24–28, 2004.
- Y. Yamada, Radiative corrections in SUSY phenomenology, 12th International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions, Tsukuba, June 17–23, 2004.
- M. Yamaguchi, Heavy gravitino/moduli cosmology revisited, PASCOS04, Northeastern Univ., Boston, USA, August 16–22, 2004.
- T. Moroi, Hadronic decay of the gravitino in the early universe and its implications to particle cosmology, PASCOS04, Northeastern Univ., Boston, USA, August 16–22, 2004.
- M. Tanabashi, Higgsless models with and without an extra dimension, 7th ACFA Workshop on Physics and Detector at the Linear Collider, Taipei, Taiwan, November 9–12, 2004.
- M. Yamaguchi, Cosmology of heavy gravitino/moduli, Tamura Symposium on Particle and Astroparticle Physics, Texas Univ., Austin, USA, November 18–20, 2004.
- M. Tanabashi, Higgsless models with and without an extra dimension, Physics in the LHC Era, Kyoto, December 13–15, 2004.
- M. Tanabashi, Higgsless models with and without an extra dimension, 2004 International Workshop on Dynamical Symmetry Breaking, Nagoya, December 21–22, 2004.

- M. Tanabashi, Higgsless models with and without an extra dimension, International Workshop “Windows to New Paradigm in Particle Physics,” Sendai, February 14–16, 2005.
 - M. Yamaguchi, A bottom-up approach to moduli dynamics in heavy gravitino scenario, 11th International Symposium on Particles, Strings, and Cosmology (PASCOS-05), Gyeongju, Korea, May 30–June 4, 2005.
 - T. Moroi, Gravitino production in the early universe and its implication to particle cosmology, 11th International Symposium on Particles, Strings, and Cosmology (PASCOS-05), Gyeongju, Korea, May 30–June 4, 2005.
 - Y. Yamada, Two-loop SUSY QCD correction to the gluino pole mass, 13th International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions (SUSY 2005), Durham, UK, July 18–23, 2005.
 - Y. Yamada, Two-loop SUSY QCD correction to the gluino pole mass, 7th International Symposium on Radiative Corrections (RADCOR 2005), Shonan Village, Kanagawa, October 2–7, 2005.
 - M. Yamaguchi, $b \rightarrow s$ transitions in SUSY: right-handed vs left-handed, 3rd International Conference on Flavor Physics, Chung-li, Taiwan, October 2–8, 2005.
 - Kaluza-Klein modes in warped string compactification, Cairo International Conference on High Energy Physics (CICHEP II), German University, Cairo, Egypt, January 14–17, 2006.
 - T. Moroi, Reconstructing the dark matter density with the ILC, Cairo International Conference on High Energy Physics (CICHEP II), German University, Cairo, Egypt, January 14–17, 2006.
 - T. Moroi, Sneutrino dark matter, 4th Workshop on Mass Origin and Supersymmetry Physics, Tsukuba, March 6–8, 2006.
 - K. Hikasa, Outlook, 4th Workshop on Mass Origin and Supersymmetry Physics, Tsukuba, March 6–8, 2006.
- A06 公募
 - Y. Kayaba, S. Aoki and Y. Kuramashi, One-loop calculations of the $O(a)$ improvement coefficients for the relativistic heavy quarks on the lattice, Lattice 2003, Tsukuba, Japan.
 - Y. Kikukawa, A numerical implementation of abelian chiral gauge theory on the lattice with exact gauge invariance, Asia-Pacific Mini-Workshop on Lattice QCD, CCP, University of Tsukuba, Tsukuba, Japan. January 23–24, 2003
 - N. Maekawa, Grand unification with anomalous U(1) symmetry, SUSY02, DESY, Hamburg, Germany, June 17–23, 2002.

- N. Maekawa , Anomalous U(1) symmetry and vacuum selection by inflation, SI2002, Fuji-Yoshida, August 13–20, 2002.
- N. Maekawa , Grand unification with anomalous U(1) symmetry, Univ. of Minnesota, Minneapolis, October 10–12, 2002.
- N. Maekawa , Grand unification with anomalous U(1) symmetry and non-abelian horizontal symmetry, SCGT2002, Nagoya University, Nagoya, December 10–13, 2002.
- N. Maekawa , GUT with anomalous U(1) suggests heterotic M-theory?, String Phenomenology 2003 at IPPP, Durham, England, July 29–August 4, 2003.
- M. M. Nojiri, SUSY dark matter: A collider physicist’s perspective, 9th International Symposium on Particles, Strings, and Cosmology (PASCOS 03), Mumbai (Bombay), India, January 3–8, 2003.
- M. M. Nojiri, Study of stop and sbottom at LHC, 9th International Symposium on Particles, Strings, and Cosmology (PASCOS 03), Mumbai (Bombay) India, January 3–8, 2003.
- T. Miki, T. Miura and M. Tanaka, the 3rd workshop higher luminosity B factory, Shonan village, Kanagawa, August 6–7, 2002.
- M. Tanaka, Physics with 10^9 and more B mesons, 4th Workshop on Higher Luminosity B Factory, Tsukuba, Ibaraki, February 4, 2003.
- J. Sato, Oscillation-enhanced search for new interaction with neutrinos, 4th NuFact ’02 Workshop (Neutrino Factories Based On Muon Storage Rings), London, UK, July 1–6, 2002.
- J. Sato, Lepton flavor violation in long-baseline experiments, NuFact 03, 5th International Workshop on Neutrino Factories & Superbeams, Columbia Univ., New York, USA, June 5–11, 2003.
- J. Hisano, 3rd Super KEK-B Workshop, Hayama, Kanagawa, August 6–7, 2002.
- J. Hisano, 4th Workshop On Neutrino Oscillations And Their Origin (NOON2003), Kanazawa, October 14, 2003.
- S. Aoki, Y. Kayaba, Y. Kuramashi, One-loop calculation of mass dependent $\mathcal{O}(a)$ improvement coefficients for the relativistic heavy quarks on the lattice, 21st International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE 2003), Tsukuba, Ibaraki, Japan, July 15–19, 2003.
- S. Aoki, Y. Kayaba, Y. Kuramashi, and N. Yamada, On-shell improvement of the massive Wilson quark action, YITP Mini-workshop on Lattice Field Theory, Kyoto, Japan, May 24–28, 2004.

- N. Yamada, S. Aoki, Y. Kuramashi, One-loop determination of mass dependent $O(a)$ improvement coefficients for the heavy-light vector and axial-vector currents with relativistic heavy and domain-wall light quarks, 22nd International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2004), Batavia, Illinois, USA, June 21–26, 2004.
- Y. Kayaba, S. Aoki, M. Fukugita, K-I. Ishikawa, Y. Iwasaki, K. Kanaya, T. Kaneko, Y. Kuramashi, M. Okawa, A. Ukawa, T. Yoshie (CP-PACS Collaboration), Charmed meson spectra and decay constants with one-loop $O(a)$ improved relativistic heavy quark action, 22nd International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2004), Batavia, Illinois, USA, June 21–26, 2004.
- T. Ota and J. Sato, Lepton flavor violation in a long-baseline experiment, 6th International Workshop on Neutrino Factories and Superbeams (NuFact 04), Osaka, Japan, July 26–August 1, 2004.
- J. Sato, Mono-energetic neutrino beam, 7th International Workshop on Neutrino Factories and Superbeams, Laboratori Nazionali di Frascati, Frascati, Italy, June 21–26, 2005.
- J. Sato, Signature of the MSSM with right-handed neutrinos in long baseline experiments, The 13th International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions, IPPP Durham, UK, July 18–23, 2005.
- S. Matsumoto, J. Sato, and Y. Sato, Enhancement of line gamma ray signature from bino-like dark matter annihilation due to CP-violation, The 13th International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions, IPPP Durham, UK, July 18–23, 2005.
- Y. Isozumi, M. Nitta, K. Ohashi, and N. Sakai, Solitons in Supersymmetric Gauge Theories, PASCOS 2005, Gyeongju, Korea, May 31–June 4, 2005.
- Y. Isozumi, M. Nitta, K. Ohashi, and N. Sakai, Walls and vortices in supersymmetric non-Abelian gauge theories, PASCOS 2004, Northeastern University, Boston, USA, August 16–22, 2004.
- Y. Isozumi, M. Nitta, K. Ohashi, and N. Sakai, Non-abelian walls and vortices in supersymmetric theories, Proceedings of the 12th International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions (SUSY 04), Tsukuba, Japan, June 17–23, 2004.
- G. C. Cho and A. Omote, Search for extra gauge bosons in little Higgs models at a linear collider, Talk given at the International Conference on Linear Colliders, LCWS04, April 19–23, 2004, Paris, France.
- G. C. Cho, M. Honda and N. Haba, Electric dipole moments and flavor changing interactions in supersymmetric theories, Presented at “Flavor Physics and CP Violation (FPCP2004),” Taegu, Korea, October 4–9, 2004.

- G. C. Cho, Searching for extra gauge bosons in little Higgs models at future colliders, “Physics in the LHC era,” Kyoto U., Kyoto, December 13–15, 2004.
- A. Sugamoto, Distributed spin in a string picture of hadrons, 3rd International Workshop on New Developments of Integrated Sciences, Tokyo, Japan, March 10–11, 2005.
- M. Bando, T. Kugo, A. Sugamoto, and S. Terunuma, Pentaquark baryons in string theory, International Workshop on Pentaquark, Spring-8, Hyogo, Japan, July 20–23, 2004.
- N. Oshimo, Generation mixing phenomena for leptons in e^+e^- collisions, 3rd International Workshop on New Developments of Integrated Sciences, Tokyo, Japan, March 10–11, 2005.
- G. C. Cho and A. Omote, Search for extra gauge bosons in little Higgs models at a linear collider, International Conference on Linear Colliders, LCWS04, April 19–23, 2004, Paris, France.
- G. C. Cho, M. Honda and N. Haba, Electric dipole moments and flavor changing interactions in supersymmetric theories, Flavor Physics and CP Violation (FPCP2004), Taegu, Korea, October 4–9, 2004.
- A. Sugamoto, Distributed spin in a string picture of hadrons, 3rd International Workshop on New Developments of Integrated Sciences, Tokyo, Japan, March 10–11, 2005.
- M. Bando, T. Kugo, A. Sugamoto, and S. Terunuma, Pentaquark baryons in string theory, International Workshop on Pentaquark, Spring-8, Hyogo, Japan, July 20–23, 2004.
- N. Oshimo, Generation mixing phenomena for leptons in e^+e^- collisions, 3rd International Workshop on New Developments of Integrated Sciences, Tokyo, Japan, March 10–11, 2005.
- M. Tanimoto, Prediction of U_{e3} and $\cos^2 \theta_{23}$ from discrete symmetry, Talk given at 40th Rencontres de Moriond on Electroweak Interactions and Unified Theories, La Thuile, Aosta Valley, Italy, March 5–12, 2005.
- M. Fukunaga and T. Onogi, Model independent determination of $|V_{ub}|$, The XXII International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2004), Fermilab, USA, June 21–26, 2004.
- H. Fukaya, S. Hashimoto, T. Hirohashi, H. Matsufuru, K. Ogawa and T. Onogi, Overlap fermion with the topology conserving gauge action, The XXIII International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2005), Trinity College, Dublin, Ireland, July 25–30, 2005.
- H. Fukaya, T. Onogi, S. Hashimoto, T. Hirohashi and K. Ogawa, Parameter dependence of the topology change and the scaling properties of the topology conserving gauge action, The XXIII International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2005), Trinity College, Dublin, Ireland, July 25–30, 2005.

- S. Negishi, H. Matsufuru, T. Onogi, and T. Umeda, Study of $1/m$ corrections in HQET, The XXIII International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2005), Trinity College, Dublin, Ireland, July 25–30, 2005.
- N. Maekawa, Anomalous $U(1)$ as a Peccei-Quinn symmetry, Progress in Particle Physics 2005, Kyoto U., June 20–23, 2005.
- N. Maekawa, A solution for little hierarchy problem and $b \rightarrow s\gamma$, Sapporo Winter School, Niseko, March 4–8, 2006.
- N. Maekawa, A solution for little hierarchy problem and $b \rightarrow s\gamma$, SUSY 2006, Irvine, California, USA, June 12–17, 2006.
- N. Haba, Dynamical symmetry breaking in 5D gauge-Higgs unification, SUSY 2004, Tsukuba, Japan, June 17–23, 2004.

6.3 国内での発表

- A01 計画

- 松永 浩之: CDF Run2 の現状および展望(1),
第 8 回東大素粒子物理国際センターシンポジウム(2002 年 2 月 17-20 日), 長野県白馬村.
- 鈴木 隆史: CDF Run2 の現状および展望(2),
第 8 回東大素粒子物理国際センターシンポジウム(2002 年 2 月 17-20 日), 長野県白馬村.
- 原 和彦: CDF Run2 の現状と将来の展望,
コライダー研究会(2002 年 2 月 25-27 日), KEK.
- 受川 史彦: *B* Physics at CDF ,
コライダー研究会(2002 年 2 月 25-27 日), KEK.
- 金子 寛: CDF II 実験, TOF 測定器に用いるファインメッシュ型光電子増倍管の性能評価 IV,
日本物理学会(2002 年 3 月 24 日), 立命館大学.
- 武居 康德: CDF 実験用高放射線耐性シリコン飛跡検出器の研究,
日本物理学会(2002 年 3 月 24 日), 立命館大学.
- 土屋 亮: トップクォーク対生成における 2 レプトン過程の DLM による再構成,
日本物理学会(2002 年 3 月 25 日), 立命館大学.
- 寄田 浩平: トップクォーク対生成におけるレプトン + 4 ジェット過程の DLM による再構成,
日本物理学会(2002 年 3 月 25 日), 立命館大学.
- 松永 浩之: CDF Run II におけるデータ・ログの開発,
日本物理学会(2002 年 3 月 26 日), 立命館大学.
- 下島 真: マルチキャストを用いた効率的なデータ配送,
日本物理学会(2002 年 3 月 26 日), 立命館大学.
- 受川 史彦: Recent Status of Tevatron CDF,
第 41 回 RHIC-SPIN-J Physics Discussion(2002 年 6 月 18 日), 理化学研究所.
- 受川 史彦: CDF は走ってます!,
実験・観測にもとづく素粒子統一描像の構築(2002 年 8 月 21 - 23 日), 京都大学基礎物理学研究所.
- 井門 孝治: CDF Run II における Drell-Yan 過程を用いた新粒子探索,
日本物理学会(2002 年 9 月 14 日), 立教大学.
- 日下部 義明: DLM による $W + 2$ jet channel における Technicolor 粒子の探索法,
日本物理学会(2002 年 9 月 14 日), 立教大学.
- 永野間 淳二: DLM による 4 jet channel における Technicolor 粒子の探索法,
日本物理学会(2002 年 9 月 14 日), 立教大学.

- 土屋 亮: トップクォーク対生成2レプトン過程におけるカイラル相互作用の探索法,
日本物理学会(2002年9月14日),立教大学.
- 武居 康德: CDF 実験用高耐放射性シリコン飛跡検出器の研究 II,
日本物理学会(2002年9月16日),立教大学.
- 武内 勇司: CDF Run IIa 実験におけるシリコン飛跡検出器の稼働状況,
日本物理学会(2002年9月16日),立教大学.
- 金 信弘: CDF 実験の現状と将来,
物理学セミナー(2002年11月22日),大阪市立大学.
- 山本 和弘: Search for bosophilic Higgs boson at CDF,
広島ヒグス研究会(2003年1月14-15日),広島大学.
- 宮崎 由之: CDF RUN II τ トリガー,
広島ヒグス研究会(2003年1月14-15日),広島大学.
- 近藤 都登: DLM のすすめ,
広島ヒグス研究会(2003年1月14-15日),広島大学.
- 井門 孝治: Charged Higgs search and $t\bar{t}$ production in lepton + τ channel,
広島ヒグス研究会(2003年1月14-15日),広島大学.
- 金 信弘: CDF 実験の現状と将来,
物理学教室談話会(2003年1月17日),名古屋大学.
- 金 信弘: CDF 実験の現状と将来,
物理学セミナー(2003年1月22日),新潟大学.
- 松永 浩之: CDF 実験の現状,
第9回東大素粒子物理国際センターシンポジウム(2003年2月19-22日),長野県白馬村.
- 山本 和弘 "Present status and recent results of Tevatron Run II",
KEK Theory Meeting on Collider Physics, KEK, Tsukuba, Japan, February 20-22, 2003.
- 受川 史彦: Tevatron CDF 実験の現状,
物理学第二教室談話会(2003年2月27日),京都大学.
- 原 和彦: CDF 実験の検出器開発と電弱物理の最新結果,
科研費特定領域研究会「質量起源と超対称性物理の研究」(2003年3月4-5日),筑波大学.
- 松永 浩之: CDF 実験の最新結果 - 新粒子探索とトップ物理,
科研費特定領域研究会「質量起源と超対称性物理の研究」(2003年3月4-5日),筑波大学.
- 松永 浩之: Tevatron accelerator and CDF detector,
基研研究会「素粒子高エネルギーフロンティアでの物理」(2003年3月17-18日),京都大学基礎物理学研究所.

- 山本 和弘 : Higgs searches at Tevatron,
基礎研究会「素粒子高エネルギーフロンティアでの物理」(2003 年 3 月 17-18 日), 京都大学
基礎物理学研究所.
- 受川 史彦 : B physics and Heavy Quark Production at Tevatron,
基礎研究会「素粒子高エネルギーフロンティアでの物理」(2003 年 3 月 17 - 18 日), 京都大
学基礎物理学研究所 .
- 井門 孝治 : New Particle Search at CDF,
基礎研究会「素粒子高エネルギーフロンティアでの物理」(2003 年 3 月 17-18 日), 京都大学
基礎物理学研究所.
- 武内 勇司 : Top and EW physics at hadron collider,
基礎研究会「素粒子高エネルギーフロンティアでの物理」(2003 年 3 月 17 - 18 日), 京都大
学基礎物理学研究所 .
- 高野 秀明 : CDF-RUNI 実験における W ボソン対生成事象の探索 ,
日本物理学会 (2003 年 3 月 28 日), 東北学院大学 .
- 加藤 幸弘 : CDF Run II 実験の現状報告 1,
日本物理学会 (2003 年 3 月 29 日), 東北学院大学.
- 武内 勇司 : CDF Run II 実験の現状報告 2 ,
日本物理学会 (2003 年 3 月 29 日), 東北学院大学 .
- 下島 真 : IP マルチキャストを用いた効率的なデータ配送 II,
日本物理学会 (2003 年 3 月 30 日), 東北学院大学.
- 井門 孝治 : lepton + tau モードでのトップ・クォーク対生成と荷電ヒッグス粒子探索,
日本物理学会 (2003 年 3 月 30 日), 東北学院大学.
- 寄田 浩平 : トップクォーク事象, レプトン + 4 ジェットチャンネルの解析,
日本物理学会 (2003 年 3 月 30 日), 東北学院大学.
- 岩田 洋世 : CDF でのヒッグス探索,
広島ヒッグス研究会 (2003 年 1 月 14-15 日), 広島大学.
- 山本 和弘 : Search for bosophilic Higgs boson at CDF,
広島ヒッグス研究会 (2003 年 1 月 14-15 日), 広島大学.
- 宮崎 由之 : CDF RUN II τ トリガー,
広島ヒッグス研究会 (2003 年 1 月 14-15 日), 広島大学.
- 近藤 都登 : DLM のすすめ,
広島ヒッグス研究会 (2003 年 1 月 14-15 日), 広島大学.
- 井門 孝治 : Charged Higgs search and $t\bar{t}$ production in lepton + τ channel,
広島ヒッグス研究会 (2003 年 1 月 14-15 日), 広島大学.

- 金 信弘 : CDF 実験の現状と将来,
物理学教室談話会 (2003 年 1 月 17 日), 名古屋大学.
- 金 信弘 : CDF 実験の現状と将来,
物理学セミナー (2003 年 1 月 22 日), 新潟大学.
- 松永 浩之 : CDF 実験の現状,
第 9 回東大素粒子物理国際センターシンポジウム (2003 年 2 月 19-22 日), 長野県白馬村.
- 山本 和弘 : "Present status and recent results of Tevatron Run II",
KEK Theory Meeting on Collider Physics, KEK, Tsukuba, Japan, February 20-22, 2003.
- 受川 史彦 : Tevatron CDF 実験の現状,
物理学第二教室談話会 (2003 年 2 月 27 日), 京都大学.
- 原 和彦 : CDF 実験の検出器開発と電弱物理の最新結果,
科研費特定領域研究会「質量起源と超対称性物理の研究」(2003 年 3 月 4-5 日), 筑波大学.
- 松永 浩之 : CDF 実験の最新結果 - 新粒子探索とトップ物理,
科研費特定領域研究会「質量起源と超対称性物理の研究」(2003 年 3 月 4-5 日), 筑波大学.
- 松永 浩之 : Tevatron accelerator and CDF detector,
基研研究会「素粒子高エネルギーフロンティアでの物理」(2003 年 3 月 17-18 日), 京都大学
基礎物理学研究所.
- 山本 和弘 : Higgs searches at Tevatron,
基研研究会「素粒子高エネルギーフロンティアでの物理」(2003 年 3 月 17-18 日), 京都大学
基礎物理学研究所.
- 受川 史彦 : B physics and Heavy Quark Production at Tevatron,
基研研究会「素粒子高エネルギーフロンティアでの物理」(2003 年 3 月 17-18 日), 京都大学
基礎物理学研究所.
- 井門 孝治 : New Particle Search at CDF,
基研研究会「素粒子高エネルギーフロンティアでの物理」(2003 年 3 月 17-18 日), 京都大学
基礎物理学研究所.
- 武内 勇司 : Top and EW physics at hadron collider,
基研研究会「素粒子高エネルギーフロンティアでの物理」(2003 年 3 月 17-18 日), 京都大学
基礎物理学研究所.
- 高野 秀明 : CDF-RUN1 実験における W ボソン対生成事象の探索,
日本物理学会 (2003 年 3 月 28 日), 東北学院大学.
- 加藤 幸弘 : CDF Run II 実験の現状報告 1,
日本物理学会 (2003 年 3 月 29 日), 東北学院大学.

- 武内 勇司: CDF Run II 実験の現状報告 2,
日本物理学会 (2003 年 3 月 29 日), 東北学院大学.
- 小林 健一: CDF RUN IIb SVX のためのフラットケーブルの製作,
日本物理学会 (2003 年 3 月 29 日), 東北学院大学.
- 下島 真: IP マルチキャストを用いた効率的なデータ配送 II,
日本物理学会 (2003 年 3 月 30 日), 東北学院大学.
- 井門 孝治: lepton + tau モードでのトップ・クォーク対生成と荷電ヒッグス粒子探索,
日本物理学会 (2003 年 3 月 30 日), 東北学院大学.
- 寄田 浩平: トップクォーク事象, レプトン + 4 ジェットチャンネルの解析,
日本物理学会 (2003 年 3 月 30 日), 東北学院大学.
- 小川 貴志: CDF Run II 実験におけるレプトンと飛跡による (タウ) トリガー,
日本物理学会 (2003 年 9 月 9 日), 宮崎ワールド コンベンションセンター.
- 日下部 義明: Dynamical Likelihood Method の一般的な定式化,
日本物理学会 (2003 年 9 月 9 日), 宮崎ワールド コンベンションセンター.
- 戸谷 悟: DLM による $t\bar{t} \rightarrow 6$ Jets 事象の解析,
日本物理学会 (2003 年 9 月 9 日), 宮崎ワールド コンベンションセンター.
- 永野間 淳二: Improvement of Technicolor Search in 4-Jet Channel by DLM,
日本物理学会 (2003 年 9 月 9 日), 宮崎ワールド コンベンションセンター.
- 中野 逸夫: CDF RunII 実験の現状報告 1: 電弱相互作用, B の物理,
日本物理学会 (2003 年 9 月 10 日), 宮崎ワールド コンベンションセンター.
- 松永 浩之: CDF RunII 実験の現状報告 2: トップの物理, 新粒子探索, QCD,
日本物理学会 (2003 年 9 月 10 日), 宮崎ワールド コンベンションセンター.
- 津野 総司: テバトロン, CDF 実験における W ボソンに伴うジェット生成過程の QCD 物理学の研究,
日本物理学会 (2003 年 9 月 10 日), 宮崎ワールド コンベンションセンター.
- 谷本 奈穂: Study of $W\gamma$ production with $W \rightarrow \mu\nu$ at CDF in Run II,
日本物理学会 (2003 年 9 月 10 日), 宮崎ワールド コンベンションセンター.
- 佐藤 構二: CDF Run II におけるトップ クォークの質量測定,
日本物理学会 (2003 年 9 月 11 日), 宮崎ワールド コンベンションセンター.
- 井門 孝治: CDF Run II 実験におけるレプトン対生成モードでの新粒子探索,
日本物理学会 (2003 年 9 月 11 日), 宮崎ワールド コンベンションセンター.
- 増淵 達也: Higgs イベントにおけるモーメント解析を用いたパートンの同定,
日本物理学会 (2003 年 9 月 11 日), 宮崎ワールド コンベンションセンター.

- 久保 太一 : $t\bar{t}$ イベントにおけるモーメント解析を用いたパートンの同定,
日本物理学会 (2003 年 9 月 11 日), 宮崎ワールドコンベンションセンター.
- 山下 智弘 : Study of $\sigma(p\bar{p} \rightarrow \Lambda_b X) \text{Br}(\Lambda_b \rightarrow J/\psi \Lambda) / \sigma(p\bar{p} \rightarrow B^0 X) \text{Br}(B^0 \rightarrow J/\psi K_S^0)$,
日本物理学会 (2003 年 9 月 11 日), 宮崎ワールドコンベンションセンター.
- 岩田 洋世 : CDF でのヒグス探索の近況,
広島ヒグス研究会 (2004 年 1 月 19-20 日), 広島大学.
- 鈴木 隆史 : CDF での荷電ヒグス粒子の探索,
広島ヒグス研究会 (2004 年 1 月 19-20 日), 広島大学.
- 小林 博和 : $WH \rightarrow WWW \rightarrow$ like sign dilepton analysis at CDF RUNII,
広島ヒグス研究会 (2004 年 1 月 19-20 日), 広島大学.
- 小川 貴志 : CDF τ トリガー,
広島ヒグス研究会 (2004 年 1 月 19-20 日), 広島大学.
- 受川 史彦 : “Results from the CDF Experiment at Tevatron Run II”,
KEK Theory Meeting on Particle Physics Phenomenology 2004, KEK, Tsukuba, Japan,
March 1-3, 2004.
- 受川 史彦 : “ CDF 実験の現状”,
科研費特定領域第二回研究会「質量起源と超対称性物理の研究」(2004 年 3 月 8-9 日), つくば国際会議場エポカル.
- 津野 総司 : “ CDF Run-II 実験での W +jet 随伴生成の測定と QCD の検証”,
科研費特定領域第二回研究会「質量起源と超対称性物理の研究」(2004 年 3 月 8-9 日), つくば国際会議場エポカル.
- 近藤 都登 : “CDF 実験での DLM を用いた解析について”,
科研費特定領域第二回研究会「質量起源と超対称性物理の研究」(2004 年 3 月 8-9 日), つくば国際会議場エポカル.
- 小川 貴志 : CDF Run II 実験における R -parity を破る超対称性トップクォークの探索,
日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月 27 ~ 30 日), 九州大学.
- 増淵 達也 : Background separation with moment analysis in Higgs event,
日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月 27 ~ 30 日), 九州大学.
- 小林 博和 : CDF RUNII での同一電荷を持ったダイレプトン事象による Higgs 粒子探索,
日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月 27 ~ 30 日), 九州大学.
- 山下 智弘 : CDF 実験での $\Lambda_b \rightarrow J/\psi \Lambda$ 崩壊の分岐比の測定,
日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月 27 ~ 30 日), 九州大学.
- 魚住 聖 : CDF Run2 におけるセミレプトニック崩壊を用いた B 中間子の寿命測定,
日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月 27 ~ 30 日), 九州大学.

- 藤井 芳昭: Top and B Physics at CDF Run-II (特別講演),
日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月 27~30 日), 九州大学.
- 井門 孝治: Electroweak and Exotic Physics at CDF Run-II (特別講演),
日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月 27~30 日), 九州大学.
- 木村 直樹: CDFII 実験, TOF 測定器に用いるファインメッシュ型光電子増倍管の性能評価
V,
日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月 27~30 日), 九州大学.
- 谷本 奈穂: Study of $W\gamma$ production and limits on anomalous $WW\gamma$ couplings at CDF in
Run2,
日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月 27~30 日), 九州大学.
- 武内 勇司: 陽子・反陽子衝突実験でのトップクォーク対生成におけるスピン偏極度相関の測
定,
日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月 27~30 日), 九州大学.
- 津野 総司: ハドロンコライダーにおけるイベント生成プログラムの紹介,
日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月 27~30 日), 九州大学.
- 日下部 義明: Dynamical Likelihood Method による素過程における粒子の運動学的変数の再
構成法,
日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月 27~30 日), 九州大学.
- 永野間 淳二: DLM を用いた Technicolor 4jet チャンネルにおける信号とバックグラウンド
の分離,
日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月 27~30 日), 九州大学.
- 久保 太一: Parton identification with moment analysis in $t\bar{t}(\ell+4\text{jets})$ events,
日本物理学会第 59 回年次大会 (2004 年 3 月 27~30 日), 九州大学.
- 蛸名 幸二: 重心系エネルギー 1.96TeV 陽子反陽子衝突 CDF 実験における DLM を用いたトッ
プクォーク質量の測定,
日本物理学会 2004 年秋期大会 (2004 年 9 月 27~30 日), 高知大学.
- 津野 総司: CDF RunII 実験に於けるトップクォーク対生成メカニズムの研究,
日本物理学会 2004 年秋季大会 (2004 年 9 月 27~30 日), 高知大学.
- 清矢 良浩: CDF Run-II の現状: top, bottom, new physics (特別講演),
日本物理学会 2004 年秋期大会 (2004 年 9 月 27~30 日), 高知大学.
- 原 和彦: CDF Run-II の現状: QCD と電弱相互作用の物理 (特別講演),
日本物理学会 2004 年秋期大会 (2004 年 9 月 27~30 日), 高知大学.
- 田中 礼三郎: LHC/TEVATRON で期待される物理 (シンポジウム「2009 年 日本の素粒
子」),

- 日本物理学会 2004 年秋季大会 (2004 年 9 月 27~30 日), 高知大学.
- 中村 浩二: CDF RunII 実験用 CPR 検出器に用いるマルチアノード光電子増倍管の性能評価,
日本物理学会 2004 年秋季大会 (2004 年 9 月 27~30 日), 高知大学.
 - 松永 浩之: CDF 実験のための分散計算機環境の構築,
日本物理学会 2004 年秋季大会 (2004 年 9 月 27~30 日), 高知大学.
 - 佐藤 構二: CDF 実験での top quark 質量測定,
科研費特定領域第三回研究会「質量起源と超対称性物理の研究」(2005 年 3 月 7~8 日), つくば国際会議場エポカル.
 - 小林 博和: CDF 実験での Higgs 粒子探索,
科研費特定領域第三回研究会「質量起源と超対称性物理の研究」(2005 年 3 月 7~8 日), つくば国際会議場エポカル.
 - 近藤 都登: DLM とその応用 (CDF),
科研費特定領域第三回研究会「質量起源と超対称性物理の研究」(2005 年 3 月 7~8 日), つくば国際会議場エポカル.
 - 受川 史彦: CDF Run-II 実験の最近の結果 (招待講演),
日本物理学会第 60 回年次大会 (2005 年 3 月 24~27 日), 東京理科大学.
 - 小林 博和: CDF RUNII での同符号電荷を持ったダイレプトン事象による Higgs 粒子探索,
日本物理学会第 60 回年次大会 (2005 年 3 月 24~27 日), 東京理科大学.
 - 津野 総司: QCD at hadron colliders (シンポジウム講演),
日本物理学会第 60 回年次大会 (2005 年 3 月 24~27 日), 東京理科大学.
 - 佐藤 構二: Top Quark Mass Measurement in CDF Run II,
KEK Physics Seminar, KEK, Tsukuba, August 23, 2005.
 - 魚住 聖: CDF Run2 におけるセミレプトニック崩壊を用いた B 中間子の寿命測定,
日本物理学会 2005 年秋期大会 (2005 年 9 月 12~15 日), 大阪市立大学.
 - 丸山 和純: CDF 実験の最新結果 (招待講演),
日本物理学会 2005 年秋期大会 (2005 年 9 月 12~15 日), 大阪市立大学.
 - 佐藤 構二: CDF 実験におけるトップ・クォーク質量の測定,
日本物理学会 2005 年秋期大会 (2005 年 9 月 12~15 日), 大阪市立大学.
 - 木村 直樹: CDFII 実験, TOF 測定器に用いられるファインメッシュ型光電子増倍管の性能評価 VI,
日本物理学会 2005 年秋期大会 (2005 年 9 月 12~15 日), 大阪市立大学.
 - 山田 佳範: CDF RunII 実験用 CPR 検出器に用いるマルチアノード光電子増倍管の特性研究,
日本物理学会 2005 年秋期大会 (2005 年 9 月 12~15 日), 大阪市立大学.

- 山本 和弘 : Higgs Searches at the Tevatron,
広島ヒッグス研究会 2006 (2006年1月17~19日), 広島大学.
- 佐藤 構二 : CDF 実験の最新結果(招待講演),
日本物理学会第61回年次大会(2006年3月27~30日), 愛媛大学・松山大学.
- 秋元 崇 : CDF 実験による第三世代レプトクォークの探索,
日本物理学会第61回年次大会(2006年3月27~30日), 愛媛大学・松山大学.
- 土屋 亮 : CDF RunII 実験のトップクォーク対生成2レプトン過程におけるDLMを使った
トップクォーク質量測定,
日本物理学会第61回年次大会(2006年3月27~30日), 愛媛大学・松山大学.
- 魚住 聖 : CDF Run2 におけるセミレプトニック崩壊を用いたB中間子の寿命測定,
日本物理学会第61回年次大会(2006年3月27~30日), 愛媛大学・松山大学.
- 青木 雅人 : CDF Run2 におけるBc中間子の研究,
日本物理学会第61回年次大会(2006年3月27~30日), 愛媛大学・松山大学.
- A01 公募
 - 山下了 「リニアコライダーはいつどこにできるか」
2002年8月 基研研究会「実験観測にもとづく素粒子統一描像の構築」, 京都大学基礎物理学
研究所
 - 山下了 「JLCロードマップ(I)」
2002年9月 日本物理学会特別講演
 - 山下了 「リニアコライダーでのヒッグス物理」
ヒッグス研究会, 広島大学 2003年1月
 - 佐貫智行 「C+X option」
2003年3月 日本物理学会
 - 中村龍平 他 JLCCAL グループ, JLC 電磁カロリメータビームテスト報告I : ストリップ型
シャワーマキシマム測定器の性能評価
日本物理学会(2003年3月30日), 東北学院大学.
 - 伊藤さおり 他 JLCCAL グループ, JLC 電磁カロリメータビームテスト報告II : APD によ
るシャワーマックス測定器の光読み出し
日本物理学会(2003年3月30日), 東北学院大学.
 - Allister Sanchez 他 JLCCAL グループ, JLC 電磁カロリメータビームテスト報告III : Study
of Small Plastic Scintillator Tiles for the JLC EM Calorimeter
日本物理学会(2003年3月30日), 東北学院大学.

- 関口克巳, 他 JLC カロリメータグループ, JLC 電磁カロリメータビームテスト報告 IV: JLC ストリップファイバー電磁カロリメータのエネルギー線形性, 分解能
日本物理学会 (2003 年 3 月 30 日), 東北学院大学.
- 山田豊, 他 JLC カロリメータグループ, JLC 電磁カロリメータビームテスト報告 V: ストリップファイバー型電磁カロリメータの応答一様性とシャワー発達
日本物理学会 (2003 年 3 月 30 日), 東北学院大学.
- 木下明将 「SiC 半導体による放射線検出器の開発・研究」
質量起源と超対称性物理の研究 第一回科研費特定領域研究会 2003 年 3 月 4-5 日 筑波大学
- 栗田峰生 「SiC 半導体粒子検出器の研究; 開発」
日本物理学会第 58 回年次大会 2003 年 3 月 28-31 日 東北学院大学
- 木下明将 「SiC 放射線検出器の研究・開発」
岡山大学 VBL 研究発表会 2003 年 7 月 4 日
- 岩田洋世 「CDF での荷電ヒグス粒子探索の可能性」
日本物理学会 2002 年 9 月 14 日 立教大学
- 岩田洋世 「CDF におけるヒグス粒子探索」
広島ヒグス研究会 2003 年 1 月 14 日 広島大学
- 岩田洋世 「ヒグス粒子探索のためのタウ・トリガーの開発」
特定領域研究「質量起源と超対称性物理」研究会 2003 年 3 月 5 日 筑波大学
- 嶋崎俊一, 吉田拓生, 西川嗣雄, 玉川洋一: 最新オプトエレクトロニクス技術を応用した荷電粒子飛跡検出器の研究, 応用物理学会北陸・信越支部学術講演会 (2004 年 12 月 12 日), 福井大学.
- 高山 健 (KEK・加速器) ”誘導加速シンクロトロンのアウトラインと学術創成研究課題の中での位置づけ”
低温動作 Si サイリスタ搭載パルスモジュレーター開発に関する研究会 (2003 年 9 月 1 日, KEK)
- 小関国夫 (KEK・総研大), ”MOSFET を用いたパルスモジュレーター開発の現状”
低温動作 Si サイリスタ搭載パルスモジュレーター開発に関する研究会 (2003 年 9 月 1 日, KEK)
- 和気正芳 (KEK・低温工学センター), ”研究開発のプラン”
低温動作 Si サイリスタ搭載パルスモジュレーター開発に関する研究会 (2003 年 9 月 1 日, KEK)
- 吉岡欣治 (東洋工機), ”電鉄用インバータのフロン沸騰冷却”
低温動作 Si サイリスタ搭載パルスモジュレーター開発に関する研究会 (2003 年 9 月 1 日, KEK)

- 飯田克二(コマツ),”SIサイリスタのターンオンおよびターンオフについて”
低温動作 SI サイリスタ搭載パルスモジュレーター開発に関する研究会(2003年9月1日, KEK)
- 堀田栄喜(東工大), SIサイリスタを用いた加速用パルスモジュレーター
低温動作 SI サイリスタ搭載パルスモジュレーター開発に関する研究会(2003年9月1日, KEK)
- 和気正芳(KEK), ”今後, 数年掛けて行う低温動作 SI サイリスタ搭載パルスモジュレーター
の開発について”
低温動作 SI サイリスタ搭載パルスモジュレーター開発に関する研究会(2003年9月1日, KEK)
- 高山健, 進捗状況全体(加速試験段取り)
第2回学術創成研究ミニワークショップ(2003年6月27日, 東工大)
- 小関国夫, 高圧パルスモジュレーター R&D3号機の現状
第2回学術創成研究ミニワークショップ(2003年6月27日, 東工大)
- 鳥飼幸太, 4連空洞設計製作と伝送ケーブル
第2回学術創成研究ミニワークショップ(2003年6月27日, 東工大)
- 下崎義人, 誘導電圧ドループのスーパーバンチ加速への影響と評価
第2回学術創成研究ミニワークショップ(2003年6月27日, 東工大)
- 猪尾美穂, 動作特性のモデリング
第2回学術創成研究ミニワークショップ(2003年6月27日, 東工大)
- 山根功, レーザーストリッピング実証試験進捗状況
第2回学術創成研究ミニワークショップ(2003年6月27日, 東工大)
- 高山 健, 「誘導加速シンクロトロン概念とSIサイリスタの役割」
第16回SIデバイスシンポジウム(6月13日, 中野サンプラザ)
- K. Takayama, ”誘導加速シンクロトロンと Super-bunch beam 加速”
Accelerator Physics Seminar (March. 6, 2003, KEK)
- K. Takayama, ”ハドロン加速器ビーム増強のための誘導加速装置の開発”
質量起源と超相対性物理の研究会(March. 5, 2003, 筑波大学)
- K. Takayama, ”Induction Synchrotron and Super-bunch Hadron Colliders”
KEK Theory Meeting on Collider Physics (Feb. 20-22, 2003, KEK)
- M. Sakuda, ”Comment on the physics impact”
Collider Physics (Feb.18, 2003, KEK)
- 小関 国夫, ”誘導加速シンクロトロン用誘導加速装置駆動電源の開発”
加速器電源シンポジウム(2002, 12月12-13日, 白浜)

- 伊藤さおり, “デジタルカロリメータ“ 2005 日本物理学会(東京理科大)
- 吉田拓生: APDによるカロリメーターの読み出し, 科研費特定領域「質量起源と超対称性物理の研究」第三回研究会(2005年3月9日), つくば国際会議場.
- 岩瀬俊高, 吉田拓生, 今井大輔, 渡邊泰典: APDによるカロリメーターの読み出し, 日本物理学会(2005年9月14日), 大阪市立大学.

- A02 計画, A02 公募

- 戸村 友宣: Belle 実験における CKM angle ϕ_1 の測定, 科研費特定領域研究会「質量起源と超対称性物理の研究」2003年3月4日, 筑波大学.
- 中平武: Belle 実験における CKM angle ϕ_2 の測定, *ibid.*
- 相原 博昭: 素粒子シンポジウム「小林益川理論の検証と将来の CP の破れの物理」“理論家のための小林益川理論の実験的検証,” 日本物理学会 秋季大会, 宮崎ワールドコンベンションセンター・サミット, 2003/9/9-12
- 中平 武: 第5回高エネルギー物理学奨励賞受賞講演 “Study of CP Asymmetry in the Neutral B Meson Decays to Two Charged Pions,” *ibid.*
- 岩崎 昌子: “Belle の最近の研究から,” 日本物理学会 秋季大会, 高知大学, 2004/9/27-30.
- 角野 秀一: 第6回高エネルギー物理学奨励賞受賞講演 “Measurement of $|V_{ub}|$ using inclusive $B \rightarrow X_u \ell \nu$ Decays with a Novel X_u -Reconstruction Method,” *ibid.*
- 角野 秀一: “B 中間子崩壊に関する最近の結果から,” 日本物理学会 秋季大会, 大阪市大, 2005年9月12日-15日
- 相原 博昭: “CP violation in B decays,” 科研費特定領域 第四回研究会「質量起源と超対称性物理の研究」, 2006年3/6-8, つくば国際会議場エポカール
- 日下 暁人: “Constraint on CKM angle $\phi_2(\alpha)$,” *ibid.*
- 戸村 友宣: KEK B ファクトリー実験における CP 非対称パラメータ $\sin 2\phi_1$ の測定, 日本物理学会 2002 年秋季大会, 9月13-16日, 立教大学.
- 横山 将志: Observation of CP Violation in the B Meson System Using $B^0 \rightarrow J/\psi K_L$ Decays, *ibid.*
- 中平武: Measurement of CP asymmetry in $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ decays with the Belle detector at KEK asymmetric-energy e^+e^- collider, 日本物理学会 第58回年次大会, 2003年3月28-31日, 東北学院大学
- 岩崎 昌子: “Belle 実験における $B \rightarrow X_s \ell \ell$ 崩壊過程の研究” 物理学会 2003 年秋季大会, 2003年9/9-12, 宮崎

- 伊藤 康: Belle 実験における $B \rightarrow X_s \ell^+ \ell^-$ 崩壊過程の研究、日本物理学会 第 59 回年次大会 九州大学箱崎地区 2004 年 3 月 27 日 - 30 日
 - 日下 暁人: “Study of CP Violation in $B^0 \rightarrow J/\psi K_S$ at Belle with the New Silicon Vertex Detector,” 日本物理学会 秋季大会, 高知大学, 2004/9/27-30
 - 伊藤 康: “SuperKEKB 用イベントビルディングシステムの研究開発,” *ibid.*
 - 日下 暁人: “Measurement of CKM Angle ϕ_2 at the Belle Experiment,” 日本物理学会 2005 年春季大会, 東京理科大学野田キャンパス, 2005 年 3 月 24 - 27 日
 - 日下 暁人: “Constraint on CKM angle ϕ_2 with Belle new results,” 日本物理学会 秋季大会, 大阪市大, 2005 年 9 月 12 日 - 15 日
 - 中浜 優: “Belle シリコン崩壊点検出器アップグレードのための読み出しシステム及びその性能評価,” *ibid.*
 - 浜 優: “Belle 実験シリコン崩壊点検出器のためのパイプライン読み出しシステムの研究,” 日本物理学会 春季大会, 松山大学・愛媛大学, 2006/3/27-30.
 - 相原 博昭: “物質世界の起源—反物質はどこへ行ったか—,” 日本物理学会科学セミナー, 牛込筆筒区民ホール, 2005 年 8 月 26, 27 日「大強度・高輝度加速器で使用するビームモニターの開発」
 - 黒澤 陽一(京大理)「T2K 実験ミュオンモニター検出器の設計・開発」、日本物理学会第 60 回年次大会、東京理科大学(2005 年 3 月 24 日~3 月 27 日)
 - 黒澤 陽一(京大理)「T2K 実験ミュオンモニター検出器試作機の性能評価」、日本物理学会 2005 年秋季大会、大阪市立大学(2005 年 9 月 12 日~9 月 15 日)
 - 黒澤 陽一(京大理)「T2K 実験ミュオンモニター検出器の設計/試作機を用いた性能評価」、日本物理学会第 61 回年次大会、愛媛大学・松山大学(2006 年 3 月 27 日~3 月 30 日)
 - 松岡 広大(京大理)「T2K 実験ミュオンモニター用 CVD ダイヤモンド検出器の性能評価」、日本物理学会第 61 回年次大会、愛媛大学・松山大学(2006 年 3 月 27 日~3 月 30 日)
- A03 計画, A03 公募
 - 江成祐二, “Belle 実験におけるタウレプトンを用いたレプトン数非保存崩壊の探索”
日本物理学会, 2003 年 3 月, 東北大学
 - 栗山靖敏, “次世代粒子識別装置 TOP カウンターの開発研究”
日本物理学会, 2003 年 3 月, 東北大学
 - 柳瀬寿志, “時間分解能 10ps の TOF は可能か?”
日本物理学会, 2003 年 3 月, 東北大学
 - 小島正敏, “TOP カウンター用の光検出器の開発 -ファインメッシュ型光電子増倍管の性質評価-”
日本物理学会, 2003 年 3 月, 東北大学

- 伊藤康, "TOP カウンター用の光検出器の開発 2 - MCP-PMT の性能評価 -"
日本物理学会, 2003 年 3 月, 東北大学
- 赤津光俊, "Belle 実験における香りを破る電子陽電子衝突反応の探索"
日本物理学会, 2002 年 9 月, 立教大学
- 保久上隆, "Belle 実験におけるタウレプトンのレプトン数非保存崩壊過程の探索"
日本物理学会, 2002 年 9 月, 立教大学
- 保久上隆, "Belle 実験におけるタウレプトンのレプトン数非保存崩壊モードの探索"
日本物理学会, 2002 年 3 月, 立命館大学
- 川上禎之, "新型粒子識別装置「TOP counter」の Beam-test による性能評価"
日本物理学会, 2002 年 3 月, 立命館大学
- 江成祐二, "次世代型粒子識別検出器 bar-TOP カウンターの開発・研究"
日本物理学会, 2002 年 3 月, 立命館大学
- 宮林善久, "高い時間分解能を持ったマルチアノード型光電子増倍管の開発"
日本物理学会, 2002 年 3 月, 立命館大学
- 江成祐二, "Belle 実験におけるタウレプトンを用いたレプトン数非保存崩壊の探索"
日本物理学会, 2003 年 3 月, 東北大学
- 栗山靖敏, "次世代粒子識別装置 TOP カウンターの開発研究"
日本物理学会, 2003 年 3 月, 東北大学
- 柳瀬寿志, "時間分解能 10ps の TOF は可能か?"
日本物理学会, 2003 年 3 月, 東北大学
- 小島正敏, "TOP カウンター用の光検出器の開発 -ファインメッシュ型光電子増倍管の性質評価-"
日本物理学会, 2003 年 3 月, 東北大学
- 伊藤康, "TOP カウンター用の光検出器の開発 2 - MCP-PMT の性能評価 -"
日本物理学会, 2003 年 3 月, 東北大学
- 赤津光俊, "Belle 実験における香りを破る電子陽電子衝突反応の探索"
日本物理学会, 2002 年 9 月, 立教大学
- 保久上隆, "Belle 実験におけるタウレプトンのレプトン数非保存崩壊過程の探索"
日本物理学会, 2002 年 9 月, 立教大学
- 保久上隆, "Belle 実験におけるタウレプトンのレプトン数非保存崩壊モードの探索"
日本物理学会, 2002 年 3 月, 立命館大学
- 川上禎之, "新型粒子識別装置「TOP counter」の Beam-test による性能評価"
日本物理学会, 2002 年 3 月, 立命館大学

- 江成祐二, "次世代型粒子識別検出器 bar-TOP カウンターの開発・研究"
日本物理学会, 2002 年 3 月, 立命館大学
- 宮林善久, "高い時間分解能を持ったマルチアノード型光電子増倍管の開発"
日本物理学会, 2002 年 3 月, 立命館大学
- 田端岳彦, "Belle ACC アップグレードのための RICH の開発研究"
日本物理学会, 2002 年 9 月, 立教大学
- 松本崇博, "Belle ACC アップグレードのための RICH の開発研究"
日本物理学会, 2003 年 3 月, 東北大学
- 石橋理恵, "Aerogel RICH のための radiator の試作と性能評価"
日本物理学会, 2003 年 3 月, 東北大学
- 関 貴之, "HPD (Hybrid Photo Diode) の性能テストと ASIC による読出し"
日本物理学会, 2003 年 3 月, 東北大学
- 石橋理恵, "Aerogel RICH のための radiator の試作と性能評価"
日本物理学会, 2003 年 3 月, 東北大学
- 早坂圭司, "Belle 実験における稀崩壊モード $\tau \rightarrow e\gamma$ の探索"
日本物理学会, 2003 年 9 月, 宮崎ワールドコンベンションセンター
- 江成祐二, "BELLE 実験における レプトンを用いたレプトンの香りを破る崩壊の探索 -
 $\tau \rightarrow e/\mu\pi^0/\eta/\eta'$ の探索"
日本物理学会, 2003 年 9 月, 宮崎ワールドコンベンションセンター
- 杉顕仁, "Belle 実験における TOP カウンター粒子識別装置の可能性"
日本物理学会, 2003 年 9 月, 宮崎ワールドコンベンションセンター
- 赤津光俊, "リングイメージ型 pi-K 粒子識別装置用 MCP-PMT の開発 I"
日本物理学会, 2003 年 9 月, 宮崎ワールドコンベンションセンター
- 富田光俊, "リングイメージ型 pi-K 粒子識別装置用 MCP-PMT の開発 II"
日本物理学会, 2003 年 9 月, 宮崎ワールドコンベンションセンター
- 早坂圭司, "Belle 実験における $\tau \rightarrow \mu\gamma$ による新物理の探索"
日本物理学会, 2004 年 3 月, 九州大学箱崎キャンパス
- 佐藤功視, "Belle 実験におけるレプトン数及びバリオン数の破れた崩壊モード $\tau \rightarrow p\gamma$ の探
索"
日本物理学会, 2004 年 3 月, 九州大学箱崎キャンパス
- 小酒井良延, "デュアルラディエーター・エアロジェル RICH 検出器の性能評価"
日本物理学会, 2004 年 3 月, 九州大学箱崎キャンパス
- 栗山靖敏, "Belle アップグレードのための TOP カウンターデザインの最適化"
日本物理学会, 2004 年 3 月, 九州大学箱崎キャンパス

- 久保田隆至, "Cherenkov 光を用いた TILE 型 TOF counter の研究開発"
日本物理学会, 2004 年 3 月, 九州大学箱崎キャンパス
- 岸本直樹, "リングイメージ型 pi-K 粒子識別装置 (TOP カウンター) 用 MCP-PMT の開発"
日本物理学会, 2004 年 3 月, 九州大学箱崎キャンパス
- 宮崎由之, "レプトン数とバリオン数を破る $\Lambda\pi$ へ崩壊をするタウレプトンの探索"
日本物理学会, 2004 年 9 月, 高知大学
- 佐藤功視, "Belle 実験におけるレプトン数及びバリオン数の破れた崩壊モード $\tau \rightarrow p\pi^0$ の探索"
日本物理学会, 2004 年 9 月, 高知大学
- 江成祐二, "Search for LFV decay of $\tau \rightarrow \ell\pi^0/\eta/\eta'$ "
日本物理学会, 2004 年 9 月, 高知大学
- 小酒井良延, "デュアルラディエーター・エアロジェル RICH の性能評価"
日本物理学会, 2004 年 9 月, 高知大学
- 富田光俊, "Photon TOF の開発研究"
日本物理学会, 2004 年 9 月, 高知大学
- 中野裕章, "イメージング検出器用高時間分解能読み出し IC の開発研究"
日本物理学会, 2004 年 9 月, 高知大学
- 馬塚優里, "エアロジェル RICH 検出器のためのエアロジェル表面による光の微小散乱測定"
第 60 回年次大会, 2005 年 3 月, 東京理科大学
- 芳野真弥, "TOP カウンター用半導体光電面 MCP-PMT の性能評価"
第 60 回年次大会, 2005 年 3 月, 東京理科大学
- 永峰宗典, "TOP カウンター用 GaAs 系光電面 MCP-PMT の研究開発"
日本物理学会, 2005 年 9 月, 大阪市立大学
- 青木康一, "新光学系を用いた TOP counter の研究開発"
日本物理学会, 2005 年 9 月, 大阪市立大学
- 小酒井良延, "144ch マルチアノード型 HAPD の性能評価"
日本物理学会, 2005 年 9 月, 大阪市立大学
- 大島隆義, "Belle 実験における $\tau \rightarrow \phi K\nu$ の崩壊分岐比の測定"
第 61 回年次大会, 2006 年 3 月, 愛媛大学・松山大学
- 居波賢二, "Belle の最新の研究から: タウ・チャーム粒子と 2 光子反応の物理"
第 61 回年次大会, 2006 年 3 月, 愛媛大学・松山大
- 奥村恭幸, "マイクロチャンネルプレート型光電子増倍管の寿命測定"
第 61 回年次大会, 2006 年 3 月, 愛媛大学・松山大学

- 林大司, " 粒子飛行時間情報によるエアロジェル RICH 検出器の性能改善"
第 61 回年次大会, 2006 年 3 月, 愛媛大学・松山大学
- 藤田恭一, " エアロジェル RICH 検出器のための 144 チャンネル HAPD の性能評価"
第 61 回年次大会, 2006 年 3 月, 愛媛大学・松山大学
- 宮崎由之, " Search for the lepton flavor violating tau decay including eta meson at the Belle experiment"
第 61 回年次大会, 2006 年 3 月, 愛媛大学・松山大学

- A04 計画

- 2002 年 3 月 日本物理学会 第 57 回年次大会 (3/24-27, 立命館大学)
 - * 小川郁世 (佐賀大) 「 $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 実験 (KEK-E391a) のための K_L^0 ビームフラックスの測定 」
 - * 坂下健 (大阪大) : " 入射光子が 1GeV 以上の領域での光子検出不感率の測定",
- 2002 年 9 月 日本物理学会 2002 年秋季大会 (9/13-16, 立教大学)
 - * 大場智仁 (大阪大) 「 KEK E391a 実験における検出器のレート測定 」
 - * 山本正和 (山形大) 「 CeF3 結晶の応答性能の研究 」
 - * 吉田祐樹 (山形大学) 「 PbF2 結晶を用いた電磁カロリメータの応答特性 」
 - * 山中卓 (大阪大) : " $K_L \rightarrow e^+ e^- \gamma, ee\mu\mu$ 他 KTeV 実験の最新結果 "
 - * 小寺克茂 (大阪大) : " KTeV 実験における $K_L \rightarrow eee\mu$ 崩壊率の研究 "
- 2003 年 3 月 4-5 日 科研費特定領域研究会 「 質量起源と超対称性物理の研究 」 第 1 回
 - * 山鹿光裕 (大阪大) , 「 KEK E391a 実験の物理と測定器 」
 - * 菅谷頼仁 (大阪大) , 「 KEK E391a 実験の engineering run 」
- 2003 年 3 月 日本物理学会 第 58 回年次大会 (3/28-31, 東北学院大学)
 - * 川久保直大 (佐賀大) 「 $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 実験のための K_L^0 ビームフラックスとスペクトル測定 」
 - * 菅谷頼仁 (大阪大) 「 Search for $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ decay (KEK-PS E391a experiment): Engineering run 」
 - * M.Doroshenko (KEK) 「 Detector calibration using cosmic rays and muon beam 」
 - * S.Y.Lee (プサン国立大学) 「 CsI calibration using pi0's produced by neutron-nucleus interaction (KEK-PS E391a experiment) 」
 - * 坂下健 (大阪大) 「 KEK-PS E391a experiment: Understanding of the E391a Detector using KL decay 」
 - * 田中栄一 (大阪大) 「 shashlik 型電磁カロリメータの性能評価 」

- * 水橋徹 (大阪大) 「 NiBi(WO₄)₂ Cherenkov crystal の Light yield の測定 」
- 2003 年 9 月 日本物理学会 2003 年秋季大会 (9/9-9/12, 宮崎ワールド コンベンションセンター)
 - * 隅田土詞 (京都大) 「 KEK-PS E391a 実験における Engineering Run のデータを用いた荷電粒子 veto 検出器の研究 」
 - * 坂下健 (大阪大) 「 KEK-PS E391a 実験における Engineering Run のデータを用いた Background の研究 」
 - * 奥野英城 (KEK) 「 E391a($K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$) Barrel Photon Veto - Design and Construction 」
 - * 佐藤啓之 (山形大) 「 E391a($K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$) Front Barrel Photon Veto - Cosmic-ray test 」
- 2004 年 3 月 8-9 日 科研費特定領域研究会 「 質量起源と超対称性物理の研究 」 第 2 回
 - * 渡辺丈晃 (シカゴ大), "Status of KEK E391a - 1"
 - * 菅谷頼仁 (大阪大), "Status of KEK E391a - 2"
 - * 小松原健 (KEK), 「 K 中間子稀崩壊実験とその物理 」
- 2004 年 3 月 日本物理学会 第 59 回年次大会 (3/27-30, 九州大学)
 - * 佐藤啓之 (山形大) 「 E391a($K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 実験) Front Barrel Photon Veto Monitor System 」
 - * 阿久根洋平 (佐賀大) 「 E391a($K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 実験) 中央部 Barrel Photon Veto の Cosmic-Ray による性能評価 」
- 2004 年 9 月 日本物理学会 2004 年秋季大会 (9/27-9/30, 高知大学)
 - * 隅田土詞 (京都大) 「 Status of $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ experiment (KEK-PS E391a) - Study of detector performance - 」
 - * M.Doroshenko (KEK) 「 Status of $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ experiment (KEK-PS E391a) - Reconstruction of neutral kaon decays - 」
 - * 坂下健 (大阪大) 「 Status of $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ experiment (KEK-PS E391a) - Current estimation of the background level- 」
 - * 島崎昇一 (KEK) 「 KEK PS-E391a 実験用アンプディスクリ・モジュールの開発 」
- 2005 年 3 月 7-8 日 科研費特定領域研究会 「 質量起源と超対称性物理の研究 」 第 3 回
 - * 林 ケヨブ, "Status of the KEK E391a Experiment"
 - * 山鹿光裕, " $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ Experiment at J-Parc"
- 2005 年 3 月 日本物理学会 第 60 回年次大会 (3/24-27, 東京理科大学)
 - * 石井裕康 (大阪大) 「 π^0 reconstruction による E391a-CsI カロリメータのエネルギー較正 」
 - * 佐藤啓之 (山形大) 「 $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 実験 (KEK-PS E391a) における中央部 Barrel 型 veto counter の性能評価 」

- * 石橋正二郎 (佐賀大) 「 KEK PS-E391a 実験の検出器を用いた宇宙線測定 」
 - * 渡邊丈晃 (シカゴ大) 企画講演 「 Study on the $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ (KEK-E391a experiment) 」
 - * 坂下健 (大阪大) 「 $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の探索とその背景事象の見積もり (KEK-PS E391a 実験) 」
 - * 松村 徹 , 新川 孝男 「 K 中間子稀崩壊実験に用いる入射角度測定電磁カロリメータの開発 」
- 2005 年 9 月 日本物理学会 2005 年秋季大会 (9/12-9/15, 大阪市立大学)
- * 坂下健 (大阪大) 「 E391aRun1 のデータを用いた $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の探索 」
 - * 隅田土詞 (京都大) 「 E391a Run2 における $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の解析状況について 」
 - * 上野寛海 (山形大) 「 Wave Length Shifter Fiber の読出に適したマルチアノード光電子増倍管の開発 」
- 2005 年 11 月 26 日 K 中間子稀崩壊実験と測定器に関するワークショップ
- * 松村 徹 , 東條 剛士 , 新川 孝男 「 K_L 崩壊実験に用いるスパゲッティ型カロリメータの性能 」
 - * 東條 剛士 , 新川 孝男 , 松村 徹 「 スパゲッティ型カロリメータ試作機の製作 」
- 2005 年 12 月 26 日 次世代光センサーに関するワークショップ
- * 松村 徹 「 K_L 崩壊実験用角度検出カロリメータと光検出器 」
- 2006 年 3 月 6-8 日 科研費特定領域研究会 「 質量起源と超対称性物理の研究 」 第 4 回
- * 稲垣隆雄, "The results from the KEK E391a experiment"
 - * 山中 卓, "The $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ Experiment at J-Parc"
- 2006 年 3 月 日本物理学会 第 61 回年次大会 (3/27-30, 愛媛大学)
- * 坂下健 (大阪大) 「 KEK-PS E391a 実験における $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の探索 」
 - * 緒方里咲 (佐賀大) PW0 及びクオルツレイヤーを用いた E391a Back Anti カウンター 」
 - * 下川哲司 (佐賀大) La ドーピングによる PW0 結晶のシンチレーション・チェレンコフ発光特性の変化 」
 - * 山鹿光裕 (大阪大) シンポジウム講演 「 K 中間子のフレーバー物理 」
 - * 東條 剛士 , 新川 孝男 , 松村 徹 「 鉛板シンチレーティングファイバ積層型カロリメータの試作と性能評価 」

● A05 計画

- K 中間子稀崩壊実験

小松原 健, 研究会 「 実験・観測にもとづく素粒子統一描像の構築 」, 京都大学基礎物理学研究所, 2002 年 8 月 21 日-23 日. 素粒子論研究 107 巻 (2003 年), C3-C6.

- BNL-E949 実験における $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ 崩壊の研究
吉岡瑞樹, 大橋永治, 小俣和夫, 河辺征次, 小林正明, 小松原健, 笹尾登, 下山哲矢, 新川孝男, 杉本章二郎, 関口哲郎, 玉川洋一, 常見俊直, 中野貴志, 西出純一郎, 能町正治, 野村正, 比嘉健一, 藤原庸博, 溝内健太郎, 宮島光弘, 村松憲仁, 吉村喜男, 他 BNL-E949 CollaborationA 日本物理学会 秋季大会, 立教大学池袋キャンパス, 2002 年 9 月 13-16 日.
- BNL での $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ 実験におけるゲインモニターシステムとエネルギー分解能改善の試み
溝内健太郎, 大橋永治, 小俣和夫, 河辺征次, 小林正明, 小松原健, 笹尾登, 下山哲矢, 新川孝男, 杉本章二郎, 関口哲郎, 玉川洋一, 常見俊直, 中野貴志, 西出純一郎, 能町正治, 野村正, 藤原庸博, 宮島光弘, 村松憲仁, 吉岡瑞樹, 吉村喜男, 他 BNL-E949 Collaboration, 日本物理学会 秋季大会, 立教大学池袋キャンパス, 2002 年 9 月 13-16 日.
- KOPIO($K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 探索実験)のための中性子不感型光子検出器の開発 2
隅田土詞, 笹尾登, 野村正, 末広雅利, 溝内健太郎, 森井秀樹, 高嶋隆一, 小林誠, 谷口敬, 日本物理学会 秋季大会, 立教大学池袋キャンパス, 2002 年 9 月 13-16 日.
- Report on NP02 K-decay session's discussions
T.K. Komatsubara, Workshop on Kaon Decay Physics and Near-future Projects, Katsuyama, Oct. 11-13, 2002, Proceedings: **Kdecay-0301**(Jan.2003)161-171.
- KOPIO R&D in Japan
T. Nomura, Workshop on Kaon Decay Physics and Near-future Projects, Katsuyama, Oct. 11-13, 2002, PProceedings: **Kdecay-0301**(Jan.2003)183-191.
- R&D for 500MHz waveform digitizer
M. Ikeno, M. Tanaka, M. Kobayashi, S. Sugimoto, Workshop on Kaon Decay Physics and Near-future Projects, Katsuyama, Oct. 11-13, 2002, Proceedings: **Kdecay-0301**(Jan.2003)203-206.
- R&D for silicon strip detector
M. Kobayashi, T. Sekiguchi, S. Sugimoto, Workshop on Kaon Decay Physics and Near-future Projects, Katsuyama, Oct. 11-13, 2002, Proceedings: **Kdecay-0301**(Jan.2003)207-213.
- K^+ 中間子稀崩壊 $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ による”新しい物理”の探索
小松原健, 科研費特定領域第一回研究会「質量起源と超対称性物理の研究」, 筑波大学, 2003 年 3 月 4-5 日
- KOPIO 実験とその検出器開発の現状
野村正, 科研費特定領域第一回研究会「質量起源と超対称性物理の研究」, 筑波大学, 2003 年 3 月 4-5 日
- KOPIO のための中性子不感型光子検出器の開発 (1)

- 隅田土詞, 笹尾登, 野村正, 溝内健太郎, 森井秀樹, 高嶋隆一, 小林誠, 谷口敬, 日本物理学会 年次大会, 東北学院大学, 2003 年 3 月 28-31 日.
- KOPIO のための中性子不感型光子検出器の開発 (2)
森井秀樹, 野村正, 笹尾登, 溝内健太郎, 隅田土詞, 高嶋隆一, 小林誠, 谷口敬 日本物理学会 年次大会, 東北学院大学, 2003 年 3 月 28-31 日.
 - BNL-E949 実験における $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ 崩壊の解析
関口哲郎, 大橋永治, 小俣和夫, 河辺征次, 小林正明, 小松原健, 笹尾登, 下山哲矢, 新川孝男, 杉本章二郎, 玉川洋一, 常見俊直, 中野貴志, 西出純一郎, 能町正治, 野村正, 藤原庸博, 溝内健太郎, 宮島光弘, 村松憲仁, 吉岡瑞樹, 吉村喜男, 他 BNL-E949 Collaboration, 日本物理学会講演概要集 第 58 巻第 1 号 第 1 分冊 22 ページ, 東北学院大, 2003 年 3 月 28-31 日.
 - $K^+ \rightarrow \pi^+ \gamma \gamma$ 崩壊の研究 (BNL-E949)
吉岡瑞樹, 大橋永治, 小俣和夫, 河辺征次, 小林正明, 小松原健, 笹尾登, 下山哲矢 F, 新川孝男, 杉本章二郎, 関口哲郎, 玉川洋一, 常見俊直, 中野貴志, 西出純一郎, 能町正治, 野村正, 比嘉健一, 藤原庸博, 溝内健太郎, 宮島光弘, 村松憲仁, 吉村喜男, 他 BNL-E949 Collaboration, 日本物理学会講演概要集 第 58 巻第 1 号 第 1 分冊 22 ページ, 東北学院大, 2003 年 3 月 28-31 日.
 - Rare Kaon Decays
小松原 健, in the series of K2K SciBar Summer Seminar, KEK, July 3, 2003.
 - BNL-E949 実験における $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ 崩壊の解析 II
関口哲郎, 大橋永治, 小俣和夫, 小林正明, 小松原健, 笹尾登, 新川孝男 E, 杉本章二郎, 玉川洋一, 常見俊直, 中野貴志, 能町正治, 野村正, 藤原庸博, 溝内健太郎, 村松憲仁 D, 吉岡瑞樹, 吉村喜男, 他 BNL-E949 Collaboration, 日本物理学会講演概要集 第 58 巻第 2 号 第 1 分冊 10 ページ, 宮崎ワールド コンベンションセンタ, 2003 年 9 月 9-12 日.
 - BNL での $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ 実験におけるゲインモニターシステムとそれによるエネルギー分解能の改善
溝内健太郎, 大橋永治, 小俣和夫, 小林正明, 小松原健, 笹尾登, 新川孝男, 杉本章二郎, 関口哲郎, 玉川洋一, 常見俊直, 中野貴志, 能町正治, 野村正, 藤原庸博, 村松憲仁, 吉岡瑞樹, 吉村喜男, 他 BNL-E949 Collaboration, 日本物理学会講演概要集 第 58 巻第 2 号 第 1 分冊 10 ページ, 宮崎ワールド コンベンションセンタ, 2003 年 9 月 9-12 日.
 - $K^+ \rightarrow \pi^0 \mu^+ \nu \gamma$ 崩壊の研究 III (BNL-E787)
藤原庸博, 大橋永治, 小林正明, 小松原健, 新川孝男, 杉本章二郎, 関口哲郎, 玉川洋一, 常見俊直, 中野貴志, 能町正治, 野村正, 村松憲仁, 吉岡瑞樹, 吉村喜男, 他 BNL-E787 Collaboration, 日本物理学会講演概要集 第 58 巻第 2 号 第 1 分冊 11 ページ, 宮崎ワールド コンベンションセンタ, 2003 年 9 月 9-12 日.

- Low Energy K^+ Beamline at the NP Hall
小松原 健, J-PARC K 中間子崩壊実験のためのビームラインに関するミニワークショップ,
2003 年 12 月 13 日 KEK.
- K 中間子稀崩壊実験とその物理
小松原 健, 科研費特定領域 第二回研究会「質量起源と超対称性物理の研究」, つくば国際会議場エポカル, 2004 年 3 月 8-9 日.
- BNL-E949 実験における $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ 崩壊の探索
関口哲郎, 大橋永治, 小林正明, 小松原健, 笹尾登, 新川孝男, 杉本章二郎, 玉川洋一, 常見俊直, 中野貴志, 能町正治, 野村正, 藤原庸博, 溝内健太郎, 村松憲仁, 吉岡瑞樹, 吉村喜男, 他 BNL-E949 Collaboration, 日本物理学会年会, 九州大学, 2004 年 3 月 27-30 日.
- KOPIO のための中性子不感型光子検出器の設計開発
森井秀樹, 笹尾登, 野村正, 横山弘和, 溝内健太郎, 隅田土詞, 白井健雄, 谷口七重, 高嶋隆一, 小林誠, 谷口敬日本物理学会第 59 回年次大会, 九州大学, 2004 年 3 月 27 日-30 日.
- KOPIO のための中性子不感型光子検出器で用いるチェレンコフ放射体の特性研究
白井健雄, 笹尾登, 野村正, 横山弘和, 溝内健太郎, 隅田土詞, 森井秀樹, 谷口七重, 高嶋隆一, 小林誠, 谷口敬日本物理学会第 59 回年次大会, 九州大学, 2004 年 3 月 27 日-30 日.
- KOPIO 実験のための高量子効率光検出器の研究
谷口七重, 笹尾登, 野村正, 横山弘和, 溝内健太郎, 隅田土詞, 森井秀樹, 白井健雄, 高嶋隆一, 小林誠, 谷口敬日本物理学会第 59 回年次大会, 九州大学, 2004 年 3 月 27 日-30 日.
- First Results from BNL-E949 on the Rare Decay $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$
T. Komatsubara, Physics Seminar at KEK, 7 Apr 2004.
- KOPIO 実験のための荷電粒子 VETO 検出器開発における基本性能評価
横山弘和, 笹尾登, 野村正, 溝内健太郎, 隅田土詞, 森井秀樹, 白井健雄, 谷口七重, 高嶋隆一, 小林誠, 谷口敬日本物理学会秋季大会, 高知大学, 2004 年 9 月 27 日-30 日.
- KOPIO のための中性子不感型光子検出器で用いるチェレンコフ放射体の特性研究 2
白井健雄, 笹尾登, 野村正, 横山弘和, 溝内健太郎, 隅田土詞, 森井秀樹, 谷口七重, 高嶋隆一, 小林誠, 谷口敬日本物理学会秋季大会, 高知大学, 2004 年 9 月 27 日-30 日.
- BNL-E949 実験における hermetic photon veto を利用した $\pi^0 \rightarrow \nu \bar{\nu}$ 崩壊の探索
溝内健太郎, 大橋永治, 小林正明, 小松原健, 笹尾登, 新川孝男 E, 杉本章二郎, 関口哲郎, 玉川洋一, 常見俊直, 中野貴志, 能町正治, 野村正, 藤原庸博, 村松憲仁, 吉岡瑞樹, 吉村喜男, 他 BNL-E949 Collaboration, 日本物理学会分科会, 高知大学, 2004 年 9 月 27-30 日.
- K 中間子稀崩壊実験に用いる 大型シリコンストリップ・ K^+ ビーム検出器の開発
大橋永治, 池田博一, 小林正明, 小松原健, 笹尾登, 新川孝男, 杉本章二郎, 関口哲郎, 玉川洋一, 常見俊直, 中野貴志, 能町正治, 野村正, 藤原庸博, 村松憲仁, 溝内健太郎, 吉岡瑞樹, 吉村喜男, 日本物理学会分科会, 高知大学, 2004 年 9 月 27-30 日.

- KOPIO experiment at BNL
T. Nomura, Workshop on Kaon Experiments and Detectors, Mikata, November 5-7, 2004, Proceedings: **KEK K-decay Report 2005-1**(February 2005)119-134.
- Issues on K^+/K_L -decay experiments at J-PARC
T.K. Komatsubara, Workshop on Kaon Experiments and Detectors, Mikata, November 5-7, 2004, Proceedings: **KEK K-decay Report 2005-1**(February 2005)143-155.
- New Trend of R&D on Scintillating Crystals
M. Kobayashi, Workshop on Kaon Experiments and Detectors, Mikata, November 5-7, 2004, Proceedings: **KEK K-decay Report 2005-1**(February 2005)195-203.
- KOPIO 実験のための高量子効率光検出器の基本特性評価
谷口七重, 笹尾登, 野村正, 横山弘和, 溝内健太郎, 隅田土詞, 森井秀樹, 白井健雄, 中島康博, 高嶋隆一, 小林誠, 谷口敬, 日本物理学会第 60 回年次大会, 東京理科大学, 2005 年 3 月 24 日-27 日.
- KOPIO 実験のための波長変換ファイバー読み出し型 VETO 検出器の開発における基本性能の研究
中島康博, 笹尾登, 野村正, 横山弘和, 溝内健太郎, 隅田土詞, 森井秀樹, 白井健雄, 谷口七重, 高嶋隆一, 小林誠, 谷口敬, 日本物理学会第 60 回年次大会, 東京理科大学, 2005 年 3 月 24 日-27 日.
- K 中間子飛崩壊実験用ガンマ線検出器のための溝付射出成形プラスチックシンチレータの性能評価
原幸弘, 新川孝男, 杉本章二郎, 竹之内浩祐, 玉川洋一, 松村徹, 日本物理学会年会, 東京理科大学, 2005 年 3 月 24-27 日.
- BNL-E949 における $K^+ \rightarrow \pi^+ \gamma \gamma$ 崩壊過程の研究
吉岡瑞樹, 大橋永治, 小林正明, 小松原健, 笹尾登, 新川孝男, 杉本章二郎, 関口哲郎, 玉川洋一, 常見俊直, 中野貴志, 能町正治, 野村正, 藤原庸博, 溝内健太郎, 村松憲仁, 吉村喜男, 他 BNL-E949 Collaboration, 日本物理学会年会, 東京理科大学, 2005 年 3 月 24-27 日.
- BNL-E949 実験における $\pi^0 \rightarrow \nu \bar{\nu}$ 崩壊の探索
溝内健太郎, 大橋永治, 小林正明, 小松原健, 笹尾登, 新川孝男, 杉本章二郎, 玉川洋一, 常見俊直, 中野貴志, 能町正治, 野村正, 藤原庸博, 村松憲仁, 吉村喜男, 他 BNL-E949 Collaboration, 日本物理学会秋季大会, 大阪市立大学, 2005 年 9 月 12 日-15 日.
- KOPIO 実験のための中性子不感型光子検出器の開発
中島康博, 笹尾登, 野村正, 溝内健太郎, 隅田土詞, 森井秀樹, 横山弘和, 谷口七重, 高嶋隆一, 小林誠, 谷口敬, 南條創日本物理学会秋季大会, 大阪市立大学, 2005 年 9 月 12 日-15 日.
- Development of Aerogel-based Photon Detector T. Nomura, Workshop on Kaon Experi-

ments and Detectors, Mikuni, November 25-27, 2005, Proceedings: **KEK K-decay Report 2006-1**(February 2006)155-166.

- Heavy Scintillating Glasses
M. Kobayashi, Workshop on Kaon Experiments and Detectors, Mikuni, November 25-27, 2005, Proceedings: **KEK K-decay Report 2006-1**(February 2006)207-203.
- K 中間子の崩壊から何がわかるか, 小松原 健, 東京工業大学 大学院理工学研究科, 基礎物理学セミナー, 2005 年 12 月 21 日.
- プラスチックシンチレーター・波長変換ファイバー読み出しにおける集光機構についての研究,
谷口七重, 笹尾登, 野村正, 南條創, 溝内健太郎, 隅田土詞, 森井秀樹, 横山弘和, 中島康博, 前田憲一, 高嶋隆一, 小林誠, 谷口敬日本物理学会第 61 回年次大会, 愛媛大学, 2006 年 3 月 27 日-30 日.

- A06 計画

- 山田洋一, Beyond LO corrections to $b \rightarrow s\gamma$ at large $\tan\beta$: the charged Higgs contribution, KEK 理論研究会「コライダーの物理」, KEK, 2003 年 2 月 20 日
- 山口昌弘, Sfermion masses and lepton flavor violation, 研究会「質量起源と超対称性物理の研究」, 筑波大学, 2003 年 3 月 5 日
- 諸井健夫, 観測的宇宙論と素粒子物理, 研究会「質量起源と超対称性物理の研究」, 筑波大学, 2003 年 3 月 5 日
- 山田洋一, Gauge dependence of the SUSY Higgs self energies, 基研研究会「素粒子高エネルギーフロンティアでの物理」, 京都大学基礎物理学研究所, 2003 年 3 月 18 日
- 日笠健一, リニアコライダーが明らかにする素粒子像, 日本物理学会年会招待講演, 東北学院大学, 2003 年 3 月 28 日
- 山口昌弘, ブレインワールドと素粒子模型, 日本物理学会年会招待講演, 東北学院大学, 2003 年 3 月 28 日
- 山田洋一, Towards an exact evaluation of the supersymmetric $O(\alpha_s \tan\beta)$ corrections to $\bar{B} \rightarrow X_s \gamma$, 基研 2003 年度前期研究会「素粒子物理学の進展」, 京都大学基礎物理学研究所, 2003 年 7 月 23 日
- 棚橋誠治, Topped MAC with extra dimensions?, 研究会「質量起源と超対称性物理の研究」第 2 回, 筑波国際会議場, 2004 年 3 月 8 日
- 日笠健一, 質量起源と超対称性の物理: Towards a Summary, 研究会「質量起源と超対称性物理の研究」第 2 回, 筑波国際会議場, 2004 年 3 月 9 日

- 山田洋一, 超対称現象論における高次補正, 研究会「質量起源と超対称性物理の研究」第3回, 筑波国際会議場, 2005年3月9日
- 山口昌弘, 超対称性とフレーバーの混合, 研究会「質量起源と超対称性物理の研究」第3回, 筑波国際会議場, 2005年3月9日
- 日笠健一, Particle Data Book, 日本物理学会年会招待講演, 東京理科大学, 2005年3月24日
- 棚橋誠治, Higgsless models with and without an extra dimension, 日本物理学会年会招待講演, 東京理科大学, 2003年3月26日
- 山口昌弘, 宇宙論との接点, 日本物理学会招待講演, 大阪市立大学, 2005年9月13日

- A06 公募

- 青木慎也, 格子 QCD による重いクォークの物理の研究, 研究会「質量起源と超対称性物理の研究」, 筑波大学, 2003年3月5日
- 波場直之, Fermion mass hierarchy in the six dimensional SO(10) grand unified theory on orbifold, 素粒子物理学の進展, 京大基礎物理学研究所, 2002年7月8-11日
- 波場直之, Fermion mass hierarchy in 6D SO(10) on orbifold, Summer Institute 2002, 富士吉田, 2002年8月13-20日
- 波場直之, Gauge-Higgs unification in the five-dimensional E_6 , E_7 , and E_8 GUTs on orbifold, 四国セミナー, 香川大学, 2003年4月2-3日
- 波場直之, Gauge-Higgs unification in 5D $N = 1$ SUSY E_6 and E_7 GUTs on orbifold, 素粒子物理学の進展, 京大基礎物理学研究所, 2003年7月22-25日
- 波場直之, Gauge Higgs unification in 5D $N = 1$ SUSY E_6 and E_7 GUTs on orbifold, SI2003, 富士吉田, 2003年8月12-19日
- 前川展祐, The E_6 grand unified theory, 素粒子物理学の進展, 京都大学基礎物理学研究所, 2002年7月8-11日
- 前川展祐, Horizontal symmetry and anomalous U(1) symmetry as a solution for SUSY flavor problem, 日本物理学会第58回年会, 東北学院大学, 2003年3月
- 前川展祐, Non-abelian horizontal symmetry and E_6 GUT for SUSY flavor problem, 素粒子物理学の進展, 京都大学基礎物理学研究所, 2003年7月22-25日
- 久野純治, 松本重貴, 野尻美保子, Higher-order effects to the neutralino annihilation into two photons, 日本物理学会第58回年会, 東北学院大学, 2003年3月31日
- 久野純治, 川越清以, 北野龍一郎, 野尻美保子, Study of the third generation squarks at LHC, 日本物理学会2002年秋の分科会, 2002年9月14日
- 田中実, New physics in B and K meson systems, 研究会「実験・観測にもとづく素粒子統一描像の構築 (TEA02)」, 京大基研, 2002年8月21-23日

- 田中実, CKM の物理, New Physics の Overview, 日本物理学会 2002 年秋の分科会, シンポジウム「B の物理の現在と将来」, 2002 年 9 月 14 日
- 田中実, B Physics at Hadron Colliders, 研究会「素粒子高エネルギーフロンティアでの物理」, 京大基研, 2003 年 3 月 17-18 日
- 久野純治, Mini-workshop for Super KEKB LoI physics part, 高エネルギー加速器研究機構, 2003 年 6 月 19 日
- 佐藤丈, Monoenergetic neutrino beam for long baseline experiments, 日本物理学会 2005 年秋の分科会, 大阪市立大学, 2005 年 9 月 14 日
- 坂井典佑, Solitons in the Higgs phase: moduli matrix approach, 大阪市立大学 21 世紀 COE/ 数学研究所主催研究会「場の理論・弦理論の進展」大阪市立大学, 大阪, 2006 年 2 月 6-7 日
- 坂井典佑, Solitons in Supersymmetric Gauge Theories (Walls, Vortices, Monopoles, and Instantons), 日本物理学会年会招待講演, 東京理科大学(野田), 2005 年 3 月 26 日
- 表文, 金子悟, 曹基哲, Phenomenology of TeV-scale supersymmetric see-saw model at a LC, 日本物理学会第 61 回年会, 2006 年 3 月 27-30 日
- 表文, 金子悟, 曹基哲, Phenomenology of low-scale supersymmetric see-saw model, 日本物理学会 2005 年秋の分科会, 2005 年 9 月 12-15 日
- 本多美奈子, 曹基哲, 波場直之, 超対称性理論における中性子電気双極子モーメントとフレーバーを変える相互作用, 日本物理学会第 60 回年会, 2005 年 3 月 24-27 日
- 小野芳美, 表文, 曹基哲, スニュートリノ質量に対する電子陽電子衝突実験からの制限, 日本物理学会 2004 年秋の分科会, 2004 年 9 月 27-30 日
- 照沼幸子, 菅本晶夫, 坂東昌子, 九後汰一, ストリングによるペンタクオークの研究, 日本物理学会 2004 年秋の分科会, 2004 年 9 月 27-30 日
- 小橋有子, 菅本晶夫, 量子ホール効果のトポロジー, 日本物理学会 2004 年秋の分科会, 2004 年 9 月 27-30 日
- 波場直之, Decoupling SUSY/Higgs without fine-tuning, 素粒子物理学の進展 2005, 京都大学基礎物理学研究所, 2005 年 6 月 24 日
- 波場直之, Decoupling SUSY/Higgs without fine-tuning, 日本物理学会年会, 東京理科大学, 2005 年 3 月 27 日
- 波場直之, ゲージ・ヒッグス統一理論の構築と現象論, 科研費特定領域第三回研究会「質量起源と超対称性物理の研究」, つくば国際会議場エポカル, 2005 年 3 月 8 日
- 波場直之, Dynamical symmetry breaking in gauge-Higgs unification on orbifold, 日本物理学会秋の分科会, 高知大学, 2004 年 9 月 29 日
- 波場直之, Dynamical symmetry breaking in 5D gauge-Higgs unification models, 素粒子物理学の進展 2004, 京都大学基礎物理学研究所, 2004 年 7 月 1 日

6.4 開催研究会

- 総括班

- 第1回科学研究費特定領域研究会「質量起源と超対称性物理の研究」筑波大学大学会館国際会議室, 2003年3月4-5日. 参加者 65名.
- 第2回科学研究費特定領域研究会「質量起源と超対称性物理の研究」つくば国際会議場エポカル, 2004年3月8日-9日. 参加者 60名.
- 第3回科学研究費特定領域研究会「質量起源と超対称性物理の研究」つくば国際会議場エポカル, 2005年3月7日-8日. 参加者 60名.
- 第4回科学研究費特定領域研究会「質量起源と超対称性物理の研究」つくば国際会議場エポカル, 2006年3月6日-8日. 参加者 72名.

- A01 計画

- CDF 実験日本グループ研究会
筑波大学物理学系, 2002年12月13-14日. 参加者約50名.
- CDF 実験日本グループ研究会
筑波大学物理学系, 2003年12月12-13日. 参加者約50名.
- CDF 実験日本グループ研究会
筑波大学物理学系, 2004年12月18-19日. 参加者約50名.
- CDF 実験日本グループ研究会
筑波大学物理学系, 2005年12月17-18日. 参加者約50名.

- A01 公募

- 広島ヒグス研究会, 2003年1月14, 15日, 於広島大学
- 広島ヒグス研究会 2005年3月3日-5日 (於 広島大学)
- 広島ヒグス研究会 2006年1月17日-19日 (於 広島大学)
- 低温動作 SI サイリスタ搭載パルスモジュレーター開発に関する研究会, 2003年9月1日, KEK). 参加者 18名
- 第2回学術創成研究ミニワークショップ, 2003年6月27日, 東工大. 参加者 20名
- 第1回学術創成研究ミニワークショップ, 2003年4月24日, KEK. 参加者 30名
- The International Workshop on Recent Progress in Induction Accelerators (RPIA2002) October 29-31, 2002, KEK. 参加者 約60名
- ATLAS エレクトロニクス開発研究会(プログラム)2005年3月3日-4日 千葉県館山市布良 303-1 富崎館

- 「ATLAS TGC エレクトロニクス開発・建設 及び SuperLHC への展望」 研究会(プログラム) 2006年1月7日-10日 長野県長野市戸隠 3263 番地 戸隠宿「山里」

- A02 公募

- Belle Trigger/DAQ Workshop 2005, 2005年2月17-18日 信州大学
- Belle Trigger/DAQ Workshop 2006, 2006年3月16-17日 新潟大学

- A03 公募

- 「Belle PID アップグレードに関する研究会」
名古屋大学, 2002年8月31日

- A04 計画

- E391a experiment collaboration meeting,
2001年10月4-6日、KEK.
- E391a experiment collaboration meeting,
2002年3月13-14日、KEK.
- E391a experiment collaboration meeting,
2002年10月26-27日、KEK.
- E391a experiment collaboration meeting,
2003年7月25-30日、JINR, Dubna, Russia.
- E391a experiment collaboration meeting,
2004年3月19 - 20日、KEK.
- E391a experiment collaboration meeting,
2004年8月13日、KEK.
- E391a and J-Parc KL experiments collaboration meeting,
2004年12月4 - 5日、釜山、韓国.
- E391a and J-Parc KL experiments collaboration meeting,
2005年9月22 - 24日、KEK.
- E391a and J-Parc KL experiments collaboration meeting,
2006年3月18 - 19日、KEK.
- E391a and J-Parc KL experiments collaboration meeting,
2006年7月12 - 14日、KEK.

- A05 計画

- K 稀崩壊実験の解析と計画に関するワークショップ, 勝山市, October 11-13, 2002. Proceedings of the workshop on kaon decay physics and near-future projects, edited by S. Sugimoto and Y. Tamagawa, **Kdecay-0301**(IPNS-KEK)(January 2003).
- KEK-RCNP International School and mini-Workshop for Scintillating Crystals and Their Applications in Particle and Nuclear Physics, KEK, Nov 17-18, 2003, **KEK proceedings 2004-4**(July 2004) "Scintillating Crystals" edited by M. Kobayashi and S. Sugimoto, <http://kaon.kek.jp/scintikek/>.
- J-PARC K 中間子崩壊実験のためのビームラインに関するミニワークショップ, 2003 年 12 月 13 日, KEK, <http://kaon.kek.jp/koma/BL0312/>.
- E949/E787 Analysis Meeting, BNL, August 28-29, 2003.
- Kaon 物理と測定器に関するワークショップ, 三方町, November 5-7, 2004. Proceedings of the Mini-workshop on Kaon Experiments and Detectors, edited by S. Sugimoto and Y. Tamagawa, **KEK K-decay Report 2005-1**(February 2005), http://kaon.kek.jp/~sugimoto/ws_fukui04/.
- Kaon 実験と測定器に関するワークショップ, 三国町, November 25-27, 2005. Proceedings of the 5th Fukui Meeting on Kaon Physics, edited by S. Sugimoto and Y. Tamagawa, **KEK K-decay Report 2006-1**(February 2006), http://kaon.kek.jp/~sugimoto/Fukui_mtg05_2/sub3.htm.

- A06 計画

- 「実験・観測にもとづく素粒子統一描像の構築：21 世紀の情報発信基地としての日本」, 京都大学基礎物理学研究所, 2002 年 8 月 21-23 日
- 「対称性・超対称性・その破れ：新世紀の素粒子物理インスティテュート 2002」, 京都大学基礎物理学研究所, 2002 年 9 月 2-6 日
- 「新世紀の素粒子物理インスティテュート 2003」, 東北大学, 2003 年 9 月 17-20 日
- International Workshop "Windows to New Paradigm in Particle Physics," 仙台市, 2005 年 2 月 14-16 日

- A06 公募

- 「高エネルギーフロンティアの物理」, 京都大学基礎物理学研究所, 2003 年 3 月 17-18 日
- International Workshop on Actions and Symmetries in Lattice Gauge Theory, 京都大学基礎物理学研究所, 2006 年 2 月 13-26 日

6.5 博士論文

- A01
 - 高野 秀明 : Search for W Boson Pair Production in the Lepton + Jet Channel in 1.8-TeV Proton-Antiproton Collisions, University of Tsukuba , April 2003.
 - 津野 総司 : Tests of Enhanced Leading Order QCD in W Boson plus Jet Production in 1.96-TeV Proton-Antiproton Collisions, University of Tsukuba , January 2004.
 - 井門 孝治 : Search for New Physics in Dielectron Events in 1.96 TeV Proton-Antiproton Collisions, Waseda University, March 2004.
 - 小林 博和 : Search for the Higgs Boson Using High-pT Isolated Like-Sign Dilepton Events in 1.96-TeV Proton-Antiproton Collisions , University of Tsukuba, February 2005.
 - 佐藤 構二 : Measurement of the Top Quark Mass with the Collider Detector at Fermilab, University of Tsukuba, February 2005.
 - 寄田 浩平 : Measurement of the Top Quark Mass by Dynamical Likelihood Method using Lepton plus Jet Events in 1.96-TeV Proton-Antiproton Collisions, Waseda University, January, March 2005.
 - 小川 貴志 : Search for Scalar Top Quark Pair-Production in Scenario with Violated R-Parity in 1.96-TeV Proton-Antiproton Collisions, Waseda University, March 2005.
 - 谷本 奈穂 : Measurement of $W + \gamma$ Production in the W to Muon Decay Channel in Proton-Antiproton Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV Okayama University, March 2005.
 - 魚住 聖 : Measurement of the B meson Lifetimes with the Collider Detector at Fermilab, University of Tsukuba , July 2005.
 - 石澤 善雄 : Search for Higgs Boson Production in Association with the W Boson in 1.96-TeV Proton-Antiproton Collisions, University of Tsukuba , September 2005.
 - 山下 智弘 : Measurement of J/ψ meson and b -hadron production cross section at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV, Okayama University, January 2006.
 - 土屋 亮 : Measurement of the Top Quark Mass by Dynamical Likelihood Method using the Dilepton Events with the Collider Detector at Fermilab, Waseda University , February 2006.
 - 青木 雅人 : Measurement of the B_c Meson Lifetime with the Collider Detector at Fermilab, University of Tsukuba , February 2006.
- A02
 - 戸村 友宣 : Study of Time Evolution of B Mesons at the KEK B Factory. 東京大学, 2002年3月

- 中平 武 : Study of CP Asymmetry in the Neutral B Meson Decays to Two Charged Pions. 東京大学, 2002 年 3 月
- A03
 - 居波賢二 : Precise Measurement of the Electric Dipole Moment of the tau Lepton at Belle, Nagoya University , 平成 14 年度.
 - 江成祐二 : レプトンフレーバー保存則を破る崩壊事象 $\tau \rightarrow \ell\pi^0, \ell\eta, \ell\eta'$ の探索, Nagoya University , 平成 16 年度.
 - 遊佐洋介 : Search for $\tau \rightarrow \ell\ell\ell$ and $\tau \rightarrow \ell hh$ at Belle experiment, Nagoya University , 平成 16 年度.
- A04
 - 渡辺丈晃 : ” K_L^0 beam line for the study of the $K_L^0 \rightarrow \pi^0\nu\bar{\nu}$ decay.”, 佐賀大学, 2002 年 3 月.
 - 吉田浩司 : ” 中性 K 中間子稀崩壊実験のためのサドイッチ型検出器と新型光電子増倍管の開発.”, 山形大学, 2004 年 10 月.
 - Doroshenko Mikhail : ” Measurement of the branching ratio of the $K_L^0 \rightarrow \pi^0\nu\bar{\nu}$ decay.”, 総合研究大学院大学, 2005 年 3 月.
 - 坂下 健 : ” Search for the decay $K_L^0 \rightarrow \pi^0\nu\bar{\nu}$.”, 大阪大学, 2006 年 3 月.
 - 小寺克茂 : ” Study of the Decay $K_L \rightarrow \pi^\pm e^\mp \nu e^+ e^-$ to Probe the Semileptonic K-pi Structure”, 大阪大学, 2006 年 9 月.
- A05
 - 常見俊直 : “Measurement of Direct Photon Emission in $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^0\gamma$ Decay”, 東大・理 , 2004 年度
 - 吉岡瑞樹 : “Experimental Study of the Decay $K^+ \rightarrow \pi^+\gamma\gamma$ ”, 東大・理 , 2004 年度
 - 関口哲郎 : “Measurement of the $K^+ \rightarrow \pi^+\nu\bar{\nu}$ Branching Ratio”, 東大・理 , 2004 年度
 - 溝内健太郎 : “Experimental Search for the Decay $\pi^0 \rightarrow \nu\bar{\nu}$ ”, 京大・理 , 2005 年度
- A06
 - 赤間尚之 , An analysis of $\pi\pi$ scattering with N/D method and σ meson, 東北大学 , 2003 年 3 月
 - 柿崎充 , Flavor structure in supersymmetric models, 東北大学 , 2004 年 3 月
 - 阿部信隆 , アノマリーメディエーション機構を用いた超対称素粒子模型の構築 , 東北大学 , 2004 年 4 月
 - 遠藤基 , Study of flavor structure in supersymmetric standard model by using B decay, 東北大学 , 2005 年 3 月

6.6 修士論文

- A01
 - 木村 直樹 : CDF 実験粒子飛行時間測定器及びプラグ部カロリメータに用いられる光電子増倍管の長期安定性の研究, 筑波大学 (2005.2)
 - 吉玉 仁 : CDF 実験 SVX2b シリコン飛跡検出器の開発研究, 筑波大学 (2005.2)
 - 佐藤 幸司 : CDF 実験 CPR2 検出器に用いる多チャンネル型光電子増倍管の特性研究, 筑波大学 (2003.2)
 - 金子 寛 : CDF 実験用粒子飛行時間測定器に用いる光電子増倍管の長期安定性の研究, 筑波大学 (2003.2)
 - 武居 康德 : CDF-SVXIIb 用シリコン飛跡検出器の試作と性能評価, 筑波大学 (2003.2)
 - 脇谷 康正 : CDF - SVXIIb 用シリコン検出器の開発研究, 筑波大学 (2002.2)
 - 青木 雅人 : CDF 高放射線耐性シリコン飛跡検出器の基礎特性, 筑波大学 (2002.2)
- A02
 - 魚崎 直彦 : Construction and Performance of the Upgraded Silicon Vertex Detector for the Belle Experiment. 東京大学, 2002 年 3 月
 - 山下 泰 : Data Acquisition System for the Belle Silicon Vertex Detector Upgrade. 東京大学, 2002 年 3 月
 - 伊藤 康 : Research and Development of Event Building Farm for SuperKEKB. 東京大学, 2002 年 3 月
- A03
 - 保久上隆 : Belle 実験におけるレプトンの香りをやぶる $\tau \rightarrow \mu\gamma$ 崩壊の探索, 名古屋大学, 平成 13 年度.
 - 川上禎之 : Cherenkov 光を利用した新型粒子識別装置 TOP counter の研究開発, 名古屋大学, 平成 13 年度.
 - 遊佐洋介 : A search for neutrinoless tau decays $\tau \rightarrow e/\mu K^0$ at Belle experiment, 名古屋大学, 平成 13 年度.
 - 松石武 : 次世代型粒子識別検出器「Bar-TOP カウンター」の研究開発, 名古屋大学, 平成 14 年度.
 - 徳田晴介 : 高時間分解能 TOF カウンターの研究 -限界への挑戦-, 名古屋大学, 平成 14 年度.
 - 宮林善久 : 多チャンネル型光電子増倍管を用いた TOF カウンターの研究, 名古屋大学, 平成 14 年度.

- 平野有希子 : $\tau \rightarrow \pi\pi^0\nu$ の研究, 名古屋大学, 平成 14 年度.
 - 栗山靖敏 : 粒子識別装置 TOP カウンターの開発研究, 名古屋大学, 平成 15 年度.
 - 小島正敏 : 次世代型粒子識別装置用マルチアノード型光電子増倍管の開発研究, 名古屋大学, 平成 15 年度.
 - 柳瀬寿志 : π/K 粒子識別装置用 Micro Channel Plate PMT の開発研究, 名古屋大学, 平成 15 年度.
 - 松田佳子 : $\tau \rightarrow \pi\pi^0\nu$ の研究, 名古屋大学, 平成 15 年度.
 - 富田光俊 : 次世代粒子識別装置用角型リニアアレーマルチアノード MCP-PMT(SL10) の開発研究, 名古屋大学, 平成 16 年度.
 - 久保田隆至 : GaAsP 光電面 MCP-PMT を用いた新型 RICH 検出器の開発研究, 名古屋大学, 平成 16 年度.
 - 中野裕章 : イメージング検出器用高時間分解能読み出し IC の開発研究, 名古屋大学, 平成 16 年度.
 - 小酒井良延 : 新型 K/π 識別装置 Proximity focusing 型エアロジェル RICH の開発研究, 名古屋大学, 平成 16 年度.
 - 外木場恵 : タウ粒子崩壊 $\tau \rightarrow hhh\pi^0\nu$ の崩壊分岐比の測定および $\tau \rightarrow \pi\omega\nu$ 崩壊の研究, 名古屋大学, 平成 16 年度.
 - 橋本知佳 : $\tau \rightarrow K_s\pi\nu$ 崩壊の研究, 名古屋大学, 平成 16 年度.
 - 岸本直樹 : π/K 粒子識別装置用 MCP-PMT の寿命測定, 名古屋大学, 平成 17 年度.
 - 青木康一 : 新光学系を用いた次世代粒子識別装置 focusing TOP counter の研究開発, 名古屋大学, 平成 17 年度.
 - 芳野真弥 : TOP カウンター用解析的 P.D.F. の作成と物理イベントに対する性能評価, 名古屋大学, 平成 17 年度.
 - 藤川美幸希 : 高統計データによる $\tau \rightarrow \pi\pi^0\nu$ 崩壊の研究, 名古屋大学, 平成 17 年度.
- A04
 - K. Abe, 佐賀大学, 2002 年 3 月, "Test of the pure CsI calorimeter"
 - I. Ogawa, 佐賀大学, 2002 年 3 月, "Measurement of K_L flux"
 - Y. Aruga, 山形大学, 2002 年 3 月, "Response of barrel veto"
 - K. Sawabe, 茨城大学, 2002 年 3 月, "Measurement of Aging effects on glue and scintillator"
 - 坂下健, 大阪大学, 2002 年 3 月, "Measurement of the photon detection inefficiency due to photo-nuclear interaction"

- N. Kawakubo, 佐賀大学, 2003年3月, "Measurement K_L flux and spectrum for $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ experiment"
 - Y. Fujioka, 佐賀大学, 2003年3月, "Energy calibration of E391a CsI calorimeters"
 - 池井隆起, 大阪大学, 2003年3月, "Charged Veto Detector for the $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ Experiment"
 - 大場智仁, 大阪大学, 2003年3月, "Clustering Software for KEK E391a Experiment"
 - 田中栄一, 大阪大学, 2004年3月, "MC Study for $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ experiment at J-PARC B-line"
 - 柴田吉輝, 大阪大学, 2004年3月, "The studies of a new photon detector for $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ experiment at J-PARC"
 - Y. Akune, 佐賀大学, 2004年3月, "Performance of the Main Barrel"
 - T. Mizuhashi, 大阪大学, 2004年3月, "Properties of the $\text{NaBi}(\text{WO}_4)_2$ Crystal"
 - 石橋正二郎, 佐賀大学, 2005年3月, "KEK-PS E391a 実験の検出器を用いた宇宙線強度の時間変動の測定"
 - 佐藤啓之, 佐賀大学, 2005年3月, "KEK-PS E391a 実験における Barrel 型検出器の性能評価"
 - H. Ishii, 大阪大学, 2005年3月, "Energy calibration of the E391a CsI calorimeter using π^0 reconstruction"
 - 小松成亘, 大阪大学, 2005年3月, "入射 γ の角度を測ることのできるカロリメータの設計"
 - 西 宣彦, 大阪大学, 2005年3月, " $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 実験におけるカロリメータからの電磁シャワーの漏れの研究"
 - T. Sasaki, 山形大学, 2006年3月, "中性 K 中間子崩壊による 擬スカラー粒子の探索".
 - S. Takita, 山形大学, 2006年3月, " $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊分岐比測定における 線検出効率の向上のための Clustering 評価"
 - 掛橋淳志, 大阪大学, 2006年3月, "A Study of Neutrons in the Halo of Neutral Beam"
- A05
- 隅田土詞: "KOPIO 実験のための中性子不感型光子検出器の開発", (京大・理, 2002年度)
 - 大橋永治: "K 中間子稀崩壊実験に用いる大型シリコンストリップ検出器の開発", (東大・理, 2003年度)
 - 森井秀樹: "KOPIO 実験のための中性子不感型光子検出器の設計", (京大・理, 2003年度)
 - 横山弘和: "プラスチックシンチレーター・波長変換ファイバー読みだし検出器開発の為の基礎的研究", (京大・理, 2003年度)
 - 白井健雄: "KOPIO 実験で用いる Aerogel 光学特性評価システムの開発", (京大・理, 2004年度)

- 谷口七重 : “KOPIO 実験のための荷電粒子 Veto 検出器の研究”, (京大・理, 2004 年度)
- 竹ノ内浩祐 : “ K^+ 中間子稀崩壊実験のための γ 線カロリメーターに関する研究”, (福井大学・工, 2004 年度)
- 中島康博 : “中性 K 中間子稀崩壊探索実験のためのエアロジェルを用いた光子検出器の開発” (京大・理, 2005 年度)
- 前田憲一 : “ K_L^0 稀崩壊実験のための中性子不感型 検出器の開発”, (京大・理, 2005 年度)
- 原 幸弘 : “ K^+ 飛崩壊実験のためのガンマ線検出器の開発”, (防大・理工, 2005 年度)

• A06

- 島文孝, ヒッグス三重項模型におけるレプトンフレーバーの破れ, 東北大学, 2003 年 3 月
- 松井聡, 終状態ニュートリノを用いたトップクォーク非標準相互作用の解析, 東北大学, 2003 年 3 月
- 池上真紀, スカラー場がつくるエントロピーゆらぎと宇宙背景放射, 東北大学, 2004 年 3 月
- 薄衣辰徳, QCD におけるカイラル対称性の破れとシュウィンガー・ダイソン方程式のスケール不変性, 東北大学, 2004 年 3 月
- 小倉祥照, 非自明な境界条件によるゲージ対称性の破れ, 東北大学, 2004 年 3 月
- 四柳陽, 非摂動効果による $N=1$ 超対称性の破れの機構, 東北大学, 2004 年 3 月
- 梅津貴之, 重いクォーク・反クォーク対の周囲のグルーオン配位: 摂動 QCD による解析, 東北大学, 2005 年 3 月
- 篠崎耕太郎, τ レプトンの関与する核子崩壊, 東北大学, 2005 年 3 月
- 豊田義和, Inflation 模型に対する観測的制限と curvaton 機構, 東北大学, 2005 年 3 月
- 山下暢一, 超弦理論におけるワープ解と 4 次元有効理論, 東北大学, 2005 年 3 月
- 伊藤公輔, ニュートラリーノ対消滅過程に対する輻射補正と宇宙の暗黒物質質量, 東北大学, 2006 年 3 月
- 薄井義明, 赤外発散の次元正則化とそのジェット生成過程への応用, 東北大学, 2006 年 3 月
- 大島浩暢, フラックスコンパクト化とその低エネルギー有効理論, 東北大学, 2006 年 3 月
- 小寺竜介, リトルヒッグス模型における高次演算子からの電弱補正, 東北大学, 2006 年 3 月
- 中村俊太郎, モジュライ場の崩壊と宇宙論への影響, 東北大学, 2006 年 3 月

6.7 ホームページ

- 領域全体のホームページ

<http://www.tsukuba.jp.hep.net/skim/tokutei/>

- 各計画研究・公募研究のホームページは以下の一覧表のページからポイント

<http://www.tsukuba.jp.hep.net/skim/tokutei/h14kenkyuu-tokutei.html>

6.8 受賞

- 横山 将志：第 4 回 (2002 年度) 高エネルギー物理学若手奨励賞 “Observation of Large CP Violation in the Neutral B Meson System Using $B^0 \rightarrow J/\psi K_L$ Decay”
- 樋口 岳雄：第 19 回 (2002 年度) 井上研究奨励賞 “Observation of CP Violation with B^0 Meson Decaying to the $J/\psi K_S$ State”
- 中平 武：第 5 回 (2003 年度) 高エネルギー物理学若手奨励賞 “Study of CP Asymmetry in the Neutral B Meson Decays to Two Charged Pions”
- 相原 博昭：第 20 回 (平成 15 年度) 井上学術賞： B 中間子系における CP 不変性の破れの発見
- 角野 秀一：第 6 回 (2004 年度) 高エネルギー物理学若手奨励賞 “Measurement of $|V_{ub}|$ using inclusive $B \rightarrow X_u \ell \nu$ Decays with a Novel X_u -Reconstruction Method.”
- 佐藤 構二：2004 年度 筑波大学学長表彰 “Measurement of the Top Quark Mass with the Collider Detector at Fermilab”
- 青木 慎也：第 1 回 (平成 16 年度) 日本学術振興会賞 “格子ゲージ理論の手法による素粒子物理学の研究”
- 高山 健：平成 18 年度文部科学大臣表彰科学技術賞 (研究部門) “高エネルギー円形加速器に於ける誘導加速の研究”
- 坂下 健：第 8 回 (2006 年度) 高エネルギー物理学若手奨励賞 “Search for the decay $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ Decay”

* 本特定領域のホームページ <http://www.tsukuba.jp.hep.net/skim/tokutei/> において研究成果報告, 研究会報告等の情報開示が行われている。

7 総括班評価者による評価の状況

総括班評価者はおいていないが、2003年3月、2004年3月、2005年3月に開催した特定領域研究会には、本研究領域外の学識経験者として、本研究領域の世界的権威である近藤都登早稲田大学教授に参加いただき、領域の研究推進状況についての評価・コメントをいただいている。2003年3月の研究会では、「計画研究間の連携が不十分である。」とのコメントをいただき、その後の研究方針に反映した結果、2004年3月、2005年3月の研究会では、「計画研究間の連携もよくとれていて、興味深い成果が多く得られており、実りの多い研究会となっている。今後の研究の進展が期待される」とのコメントをいただいている。総括班は、このように近藤教授の評価・提言を次年度の研究方針に反映させて、研究の推進をはかってきた。

8 研究領域の研究を推進してきた上での問題点と対応措置

計画研究 A03 では、装置開発には多額の経費が必要であり、それに対して研究予算が少ないことが問題点ではあった。新たなアイデアに基づく光検出器の開発を行なおうとすると、製作により多くの研究費が必要となる。対応策としては、限られた予算の中で、多くのアイデアに対して最良と思われる改良策に焦点を当てて開発を行なった。

他には、防衛大の方針により計画研究 A 04 の研究分担者である防衛大の新川氏に特定領域の研究費で購入した装置を納入することが 2005 年度からできなくなった。しかし、長い折衝の末、大阪大学から防衛大に装置を貸し出すことで解決できた。

全体としては、本科学研究費によって測定器開発・設計・試作および実験研究・理論研究実施に必要な計算機資源・旅費・研究員雇用を負担することによって、本領域の研究が順調に推進してきた。ここで改めて、その支援に感謝いたします。

9 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度

研究概要で述べたように、素粒子物理学は「標準理論 (The Standard Model)」と呼ばれる素粒子反応の基本理論が加速器実験によって実証されることによって発展してきた。標準理論は、(1)ゲージ普遍性の原理(2)電弱相互作用の自発的対称性の破れによる質量の生成(3)素粒子(クォークとレプトン)の三世代の階層構造という三つの柱からなっている。この中の第2の柱である「ヒッグス粒子の真空凝縮によってゲージボソン、クォーク、レプトンに質量が与えられる」という標準理論の質量起源

に対する予言は未だ実験室で確認されていない。質量の起源が、標準理論の言う自発的対称性の破れのメカニズムにあるのか、それともこの理論の枠組みにおさまらない新理論にあるのか、これは今後の素粒子物理学の方向を決める最も重要な課題である。

本研究領域においては、この課題に関して3つの大きな成果があがっている。一つは、ヒッグス粒子の間接探索により、95%の信頼度でヒッグス粒子の質量を $114 \text{ GeV}/c^2 \sim 166 \text{ GeV}/c^2$ という狭い範囲に限定することができたことである。これはヒッグス粒子についての知見の大きな進展であり、今後の直接探索に重要な指標を与えることができた。第2には、標準理論を超える新理論の手がかりとして、トップファクトリー、Bファクトリー、Kファクトリー加速器を用いて測定を行ってきた結果、これまでにない高精度で標準理論を検証できたことである。第3の成果としては、標準理論を超える新理論の手がかりとして、Bファクトリー加速器を用いた実験において、 $b \rightarrow s$ 遷移崩壊過程のCP非対称度を測定した結果に「標準理論からのずれ」が見えたことである。これらの成果は素粒子物理学の発展を加速したものとして貢献度が高い。また関連学問分野への貢献としては、この理解の進展は初期宇宙のより深い理解につながっていく。

また本研究領域では、5年間の研究期間に31名の博士号取得者を出している。その多くは、現在、国内・海外の研究施設において世界第一線の先端科学研究に取り組み、成果をあげつつある。このことに端的に表れているように、若手研究者の育成という観点からも素粒子物理および関連分野への貢献度が高い。